

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-83281

(P2001-83281A)

(43)公開日 平成13年3月30日(2001.3.30)

(51)Int.Cl.⁷

G 21 C 19/06

G 21 F 3/00

5/008

5/00

9/36

識別記号

F I

G 21 C 19/06

G 21 F 3/00

9/36

5/00

5 0 1

5/00

9/36

テマコード*(参考)

U

N

5 0 1 G

F

K

審査請求 有 請求項の数12 O L (全 25 頁)

(21)出願番号

特願平11-256404

(22)出願日

平成11年9月9日(1999.9.9)

(71)出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72)発明者 大園 勝成

神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号 三菱重工業株式会社神戸造船所内

(72)発明者 名島 慶治

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号

三菱重工業株式会社高砂研究所内

(74)代理人 100089118

弁理士 酒井 宏明 (外1名)

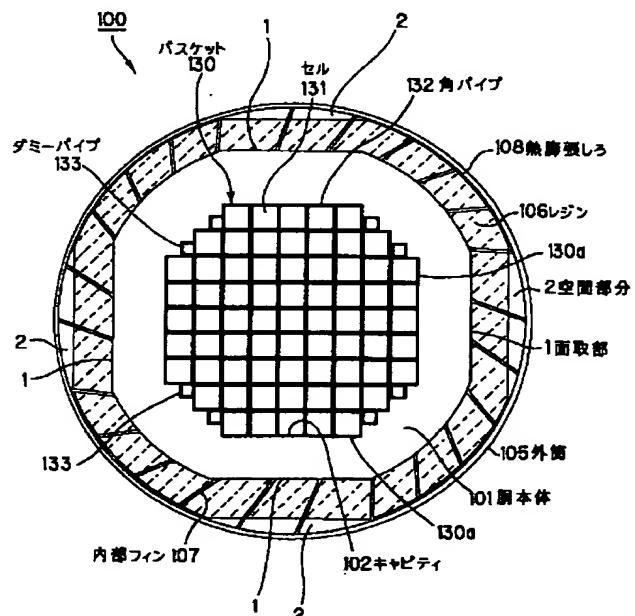
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 キャスクおよびキャスクの製造方法、並びに埋没型

(57)【要約】

【課題】 キャスクを軽量かつコンパクトにすること。

【解決手段】 γ 線の遮蔽を行う胴本体101の外周には、中性子の遮蔽を行うレジン106が設けられている。バスケット130は、中性子吸収能力を有する複数の角パイプ132から構成されている。胴本体101のキャビティ102内は、バスケット130の外形に合わせた形状に加工され、この内面に接するように前記角パイプ132が挿入されている。また、胴本体101の外側面には90°毎に面取部1が設けられており、レジン106と外筒105の間には空間部分2が形成されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 γ 線の遮蔽を行う胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能力を有する複数の角パイプを組んで格子状セルを構成したバスケットとを備え、前記胴本体の外形を前記バスケットの外形に合わせ、前記バスケットを胴本体のキャビティ内に挿入し、セル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたことを特徴とするキャスク。

【請求項2】 γ 線の遮蔽を行う胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能力を有する複数の角パイプを組んで格子状セルを構成したバスケットとを備え、前記胴本体の外形およびキャビティ内形を前記バスケットの外形に合わせ、前記キャビティ内にバスケットを挿入し、そのセル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたことを特徴とするキャスク。

【請求項3】 さらに、前記中性子遮蔽体の形を前記バスケットの外形に合わせたことを特徴とする請求項1または2に記載のキャスク。

【請求項4】 γ 線の遮蔽を行う胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能力を有する複数の角パイプを組んで格子状セルを構成したバスケットとを備え、前記胴本体のキャビティ内形を前記バスケットの外形に合わせると共に、セル内に収容した使用済み燃料集合体から発生する γ 線を遮蔽するのに必要な厚さが得られるように前記胴本体の外側に加工を施したことを特徴とするキャスク。

【請求項5】 さらに、前記中性子遮蔽体を、前記胴本体の外側に略均一厚さで形成したことを特徴とする請求項4に記載のキャスク。

【請求項6】 さらに、胴本体のうち、 γ 線の遮蔽厚さに余裕がある部分に面取を設けることで胴本体の外形をバスケットの外形に合わせるようにしたことを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載のキャスク。

【請求項7】 さらに、胴本体のうち、 γ 線の遮蔽厚さが不足する部分に補助遮蔽体を設けることで胴本体の外形をバスケットの外形に合わせるようにしたことを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載のキャスク。

【請求項8】 γ 線の遮蔽を行う胴本体と、その外側に設けた外筒とを備え、当該胴本体および外筒との間に中性子を遮蔽する中性子遮蔽体を充填するにあたり、予め、前記外筒の内面に埋没型を配置しておき、中性子遮蔽体の充填後に前記埋没型を加熱除去することで外筒との間に膨張しろその他の空間部分を形成するようにしたことを特徴とするキャスクの製造方法。

【請求項9】 γ 線の遮蔽を行う胴本体の外側に設けた外筒の内側に配置し、当該外筒と充填する中性子遮蔽体との間に形成する膨張しろその他の空間部分の型であり、この型を熱可塑性の材料により成形すると共に当該型にヒーターを埋設したことを特徴とする埋没型。

【請求項10】 γ 線の遮蔽を行う胴本体の外側に設け

た外筒の内側に配置し、当該外筒と充填する中性子遮蔽体との間に形成する膨張しろその他の空間部分の型であり、この型を金属コアの周囲に熱可塑性の材料を設けて成形すると共に前記金属コアにヒーターを埋設したことを特徴とする埋没型。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、燃焼を終えた使用済み燃料集合体を収容、貯蔵するものであって、コンパクト化あるいは軽量化することのできるキャスクおよびキャスクの製造方法、並びに埋没型に関する。

【0002】

【従来の技術】 核燃料サイクルの終期にあって燃焼を終え使用できなくなった核燃料集合体を、使用済み核燃料という。使用済み核燃料は、FPなど高放射能物質を含むので熱的に冷却する必要があるから、原子力発電所の冷却ピットで所定期間（3～6ヶ月間）冷却される。その後、遮蔽容器であるキャスクに収納され、トラック等で再処理施設に搬送、貯蔵される。使用済み核燃料集合体をキャスク内に収容するにあたっては、バスケットと称する格子状断面を有する保持要素を用いる。当該使用済み核燃料集合体は、当該バスケットに形成した複数の収納空間であるセルに1体ずつ挿入され、これにより、輸送中の振動などに対する適切な保持力を確保している。以下に本発明の開発にあたり、その前提となったキャスクについて説明する。なお、当該キャスクは、説明の便宜のために示すものであり、いわゆる公知、公用に該当するものではない。

【0003】 図17は、キャスクの一例を示す斜視図である。図18は、図17に示したキャスクの径方向断面図である。キャスク500は、筒形状の胴本体501と、胴本体501の外周に設けた中性子遮蔽体であるレジン502と、その外筒503、底部504および蓋部505から構成されている。胴本体501および底部504は、 γ 線遮蔽体である炭素鋼製の鍛造品である。また、蓋部505は、ステンレス鋼製等の一次蓋506および二次蓋507からなる。胴本体501と底部504は、突き合わせ溶接により結合してある。一次蓋506および二次蓋507は、胴本体501に対してステンレス製等のボルトにより固定されている。蓋部505と胴本体501との間には、金属製のOリングが介在し、内部の気密を保持している。

【0004】 胴本体501と外筒503との間には、熱伝導を行う複数の内部フィン508が設けられている。内部フィン508は、熱伝導効率を高めるためその材料には銅を用いる。レジン502は、この内部フィン508により形成される空間に流動状態で注入され、熱硬化反応等で固化形成する。バスケット509は、69本の角パイプ510を図17のような束状に集合させた構造であり、胴本体501のキャビティ511内に拘束状態

で挿入してある。

【0005】符号515は、使用済み核燃料集合体を収容するセルである。当該角パイプ510は、挿入した使用済み核燃料集合体が臨界に達しないように中性子吸収材（ホウ素：B）を混合したアルミニウム合金からなる。なお、キャスク本体512の両側には、キャスク500を吊り下げるためのトラニオン513が設けられている（一方は省略）。また、キャスク本体512の両端部には内部に緩衝材として木材などを組み込んだ緩衝体514が取り付けられている（一方は省略）。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記したようなキャスク500は、輸送する際の取り扱い容易化や貯蔵する際の省スペース化の観点から、コンパクトかつ軽量であることが望ましい。しかしながら、上記キャスク500の構成によれば、キャビティ511内面に対して最外周の角パイプ510で線接触することになるから、バスケット509とキャビティ511の間に空間領域Sが生じて胴本体501の径が大きくなり、キャスク500が重くなってしまう。

【0007】これに対し、キャスク外部に漏れる放射線量は、中性子および γ 線の総量で規制されているから、キャスク500の軽量化を図るには胴本体501の厚さを小さくすればよいことになる。しかし、 γ 線遮蔽体でもあるから、胴本体501側に γ 線遮蔽性能を確保するだけの厚さが要求されることになるが、この場合でも、 γ 線の遮蔽をするのに必要十分な範囲に収めるべきである。余分な肉厚はキャスクの軽量化を妨げるからである。

【0008】そこで、この発明は、上記に鑑みてなされたものであって、コンパクト化あるいは軽量化することのできるキャスクおよびキャスクの製造方法、並びに埋没型を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、請求項1にかかるキャスクは、 γ 線の遮蔽を行う胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能力を有する複数の角パイプを組んで格子状セルを構成したバスケットとを備え、前記胴本体の外形を前記バスケットの外形に合わせ、前記バスケットを胴本体のキャビティ内に挿入し、セル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたものである。

【0010】このキャスクでは、胴本体の外形をバスケットの外形に合わせているため、 γ 線遮蔽能に余裕がある部分が取り除かれて、胴本体の軽量化を図ることが可能になる。また、胴本体の外周に設けた中性子遮蔽体を胴本体の外形に合わせた形状にすれば、キャスクのコンパクト化を図ることが可能になる。

【0011】また、胴本体の外形をバスケットの外形に合わせると、当該胴本体外形を、バスケット外側面の

大きな平面部分のみに合わせた形状にすること、バスケットを構成する角パイプの頂点を結んだ形状の相似形状にすること、バスケットの外形に対する忠実な相似形状とすることなどの当業者が推知可能な範囲で適宜形成することを意味するものとする。

【0012】つぎに、請求項2にかかるキャスクは、 γ 線の遮蔽を行う胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能力を有する複数の角パイプを組んで格子状セルを構成したバスケットとを備え、前記胴本体の外形およびキャビティ内形を前記バスケットの外形に合わせ、前記キャビティ内にバスケットを挿入して、そのセル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたものである。

【0013】このキャスクでは、キャビティ内形をバスケットの外形に合わせることにより、空間領域が埋められて胴本体の外径が小さくなるが、それだけでは厚みが不均一になってしまふため、胴本体のキャビティ内のみならずその外形についてもバスケットの外形に合わせるようにしている。そのため、 γ 線遮蔽能に余裕がある部分が取り除かれて、胴本体の軽量化を図ることが可能になる。また、胴本体が小さくなる分、中性子遮蔽体の外径を小さく抑えることができるから、キャスクのコンパクト化を図ることが可能になる。

【0014】また、胴本体の外形をバスケットの外形に合わせることの意味は上記した通りであり、胴本体のキャビティ内形についても、バスケットの外形と一致した形状の他、常識的範囲でその一部がバスケット外形と一致していない場合を含むものとする。なお、胴本体を上記形状にすることで、外側の角パイプがキャビティ内面に面接触することになるから、前記セル内の使用済み燃料集合体から発生した崩壊熱は、キャスクから胴本体へと効率的に伝導するようになる。また、前記角パイプは中性子吸収機能を有するから、使用済み燃料集合体を収納した場合でも臨界に達することはない。

【0015】つぎに、請求項3にかかるキャスクは、上記キャスクにおいて、さらに、前記中性子遮蔽体の形を前記バスケットの外形に合わせたものである。すなわち、中性子遮蔽体の形をバスケットの外形に合わせることにより、胴本体の形状との相乗効果で、さらにキャスクをコンパクトにすることができる。また、胴本体の外形をバスケットの外形に合わせたことにより中性子遮蔽体の厚さに余裕のある部分が生じるが、中性子遮蔽体自体をバスケットの外形に合わせることで、中性子遮蔽体の使用量を適切に削減することができる。

【0016】また、中性子遮蔽体の形をバスケットの外形に合わせるとは、上記同様、当該中性子遮蔽体の形を、バスケット外側面の大きな平面部分のみに合わせた形状にすること、バスケットを構成する角パイプの頂点を結んだ形状の相似形状にすること、バスケットの外形に対する忠実な相似形状とすることなどの当業者が推知

可能な範囲で適宜形成することを意味するものとする。

【0017】つぎに、請求項4にかかるキャスクは、 γ 線の遮蔽を行う胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能力を有する複数の角パイプを組んで格子状セルを構成したバスケットとを備え、前記胴本体のキャビティ内形を前記バスケットの外形に合わせると共に、セル内に収容した使用済み燃料集合体から発生する γ 線を遮蔽するのに必要な厚さが得られるように前記胴本体の外側に加工を施したものである。

【0018】胴本体のキャビティ内径をバスケットの外形に合わせることで、胴本体の厚さに不均一が生じてくる。このため、胴本体に γ 線遮蔽に余裕がある部分が生じることになるが、軽量化の観点から好ましいものではない。そこで、余裕がある部分に加工を施して γ 線の遮蔽に必要な厚さを最低限確保するようにした。これにより、胴本体を軽量化できると共にコンパクト化することができる。

【0019】つぎに、請求項5にかかるキャスクは、上記キャスクにおいて、さらに、前記中性子遮蔽体を、前記胴本体の外側に略均一厚さで形成したものである。胴本体を加工しその外形を変形すると、そのまま中性子遮蔽体を設けたのでは当該中性子遮蔽体にも中性子遮蔽に余裕のある部分が生じてしまう。そこで、中性子遮蔽体を胴本体の外側に略均一厚さで形成することで、中性子遮蔽能が全体的に均一になるようにした。かかる構成によれば、中性子遮蔽体を削減できると共にキャスクの外径を小さくすることができる。

【0020】つぎに、請求項6にかかるキャスクは、上記キャスクにおいて、さらに、胴本体のうち、 γ 線の遮蔽厚さに余裕がある部分に面取を設けることで胴本体の外形をバスケットの外形に合わせるようにしたものである。

【0021】 γ 線遮蔽厚さに余裕があるとそれだけキャスクが重くなってしまうから、 γ 線遮蔽能を最低限確保できる範囲で胴本体に面取を設けるようにした。このようによれば、キャスクを軽量化できると共にコンパクト化することができる。

【0022】つぎに、請求項7にかかるキャスクは、上記キャスクにおいて、さらに、胴本体のうち、 γ 線の遮蔽厚さが不足する部分に補助遮蔽体を設けることで胴本体の外形をバスケットの外形に合わせるようにしたものである。

【0023】また、胴本体の γ 線遮蔽能に余裕を持たせて当該部分を削除する方法に対し、 γ 線遮蔽能がある部分で不足するような厚さの胴本体を用意し、この不足部分に補助遮蔽体を設けるようにしてもよい。このようにも、胴本体全体として必要な γ 線遮蔽能を確保して、軽量化およびコンパクト化を図ることができる。

【0024】つぎに、請求項8にかかるキャスクの製造方法は、 γ 線の遮蔽を行う胴本体と、その外側に設けた

外筒とを備え、当該胴本体および外筒との間に中性子を遮蔽する中性子遮蔽体を充填するにあたり、予め、前記外筒の内面に埋没型を配置しておき、中性子遮蔽体の充填後に前記埋没型を加熱除去することで外筒との間に膨張しろその他の空間部分を形成するようにしたものである。

【0025】この製造方法は、具体的には中性子遮蔽体を上記請求項3および5に記載したような形状に成形するにあたり用いるものであり、また、中性子遮蔽体と外筒との間には膨張しろが設けられるが、この膨張しろの形成にも使用可能なものである。埋没型には、たとえば酢酸ビニルを主成分としたホットメルト接着剤を用いる。加熱形態は、キャスク全体を加熱してもよいし、埋没型のみを選択的に加熱するようにしてもよい。このようにして中性子遮蔽体を形成するようにすれば、キャスクの製造が容易になる。

【0026】つぎに、請求項9にかかる埋没型は、 γ 線の遮蔽を行う胴本体の外側に設けた外筒の内側に配置し、当該外筒と充填する中性子遮蔽体との間に形成する膨張しろその他の空間部分の型であり、この型を熱可塑性の材料により成形すると共に当該型にヒーターを埋設したものである。

【0027】外筒の内側に埋没型を配置しておき、この状態で胴本体と外筒との間に中性子遮蔽体を充填する。そして、埋没型に設けたヒーターに通電することで周囲の熱可塑性材料を溶かし、外筒内から除去する。これにより、膨張しろその他の空間部分を形成することができる。この埋没型を用いれば、中性子遮蔽体の成形が簡単になるので、キャスクの製造を容易に行うことができる。

【0028】つぎに、請求項10にかかる埋没型は、 γ 線の遮蔽を行う胴本体の外側に設けた外筒の内側に配置し、当該外筒と充填する中性子遮蔽体との間に形成する膨張しろその他の空間部分の型であり、この型を金属コアの周囲に熱可塑性の材料を設けて成形すると共に前記金属コアにヒーターを埋設したものである。

【0029】金属コアの周囲に熱可塑性の材料を設け、ヒーター加熱で当該金属コアを加熱し周囲の熱可塑性材料のみを溶かすようにしたので、型の使い回しが容易になる。このため、キャスクの製造効率を向上することができる。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、この発明にかかるキャスクおよびキャスクの製造方法、並びに埋没型の実施の形態につき図面を参照しつつ詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

【0031】(実施の形態1) 図1は、この発明の実施の形態1にかかるキャスクを示す斜視図である。図2は、図1に示したキャスクの径方向断面図である。図3は、図1に示したキャスクの軸方向断面図である。この

実施の形態1にかかるキャスク100は、胴本体101のキャビティ102内面をバスケット130の外周形状に合わせて機械加工したものである。キャビティ102内面の機械加工は、後述する専用の加工装置によって加工する。胴本体101および底板104は、 γ 線遮蔽機能を有する炭素鋼製の鍛造品である。なお、炭素鋼の代わりにステンレス鋼を用いることもできる。前記胴本体101と底板104は、溶接により結合する。また、耐圧容器としての密閉性能を確保するため、一次蓋110と胴本体101との間には金属ガスケットを設けておく。

【0032】胴本体101と外筒105との間には、水素を多く含有する高分子材料であって中性子遮蔽機能を有するレジン106が充填されている。また、胴本体101と外筒105との間には熱伝導を行う複数の銅製内部フイン107が溶接されており、前記レジン106は、この内部フイン107によって形成される空間に流動状態で注入され、熱硬化反応等で固化される。なお、内部フイン107は、放熱を均一に行うため、熱量の多い部分に高い密度で設けるようにするのが好ましい。また、レジン106と外筒105との間には、数mmの熱膨張しろ108が設けられる。

【0033】蓋部109は、一次蓋110と二次蓋111により構成される。この一次蓋110は、 γ 線を遮蔽するステンレス鋼または炭素鋼からなる円盤形状である。また、二次蓋111もステンレス鋼製または炭素鋼製の円盤形状であるが、その上面には中性子遮蔽体としてレジン112が封入されている。一次蓋110および二次蓋111は、ステンレス製または炭素鋼のボルト113によって胴本体101に取り付けられている。さらに、一次蓋110および二次蓋111と胴本体101との間にはそれぞれ金属ガスケットが設けられ、内部の密封性を保持している。また、蓋部109の周囲には、レジン114を封入した補助遮蔽体115が設けられている。

【0034】キャスク本体116の両側には、キャスク100を吊り下げるためのトラニオン117が設けられている。なお、図1では、補助遮蔽体115を設けたものを示したが、キャスク100の搬送時には補助遮蔽材115を取り外して緩衝体118を取り付ける(図2参照)。緩衝体118は、ステンレス鋼材により作成した外筒120内に木材などの緩衝材119を組み込んだ構造である。バスケット130は、使用済み燃料集合体を収容するセル131を構成する69本の角パイプ132からなる。角パイプ132には、A1またはA1合金粉末に中性子吸収性能を持つBまたはB化合物の粉末を添加したアルミニウム複合材またはアルミニウム合金を用いる。また、中性子吸収材としては、ボロンの他にカドミウムを用いることができる。

【0035】また、胴本体101の外側面には、90°

間隔で4つの面取部1が設けられている。各面取部1は、バスケット130外側の面一部分130aに対向して設けられている。この面取部1は、後述する専用の加工装置により機械加工する。加工前は、当該部分が余計に厚くなってしまっており γ 線の遮蔽性能に余裕があったが、この面取加工を施すことにより、胴本体101の厚さが略均一になるとともに胴本体101の重量を軽くすることができる。また、 γ 線遮蔽性能は必要十分な範囲で確保される。

【0036】上記レジン106は、この胴本体101の外側に密着状態で充填されているが、前記面取部1に対応する位置であって、外筒105とレジン106との間に空間部分2を形成している。胴本体101に面取部1を設けることで、当該部分のレジン106が余計に厚くなってしまうからである。この空間部分2を設けることにより、レジン106の厚さを均一にして中性子遮蔽性能を平均化すると共にレジン106の使用量を削減することができる。

【0037】つぎに、上記熱膨張しろ108と、空間部分2の形成方法について説明する。図4は、空間部分2の形成に用いる埋没型を示す斜視図である。この埋没型3には2種類のものがあり、その一つはヒーター4をSUS板5で挟んでその周囲に熱可塑性材料であるホットメルト接着剤6(ジェットメルトEC-3762LM:住友3M社製)を設けた埋没型3aであり、もう一つはヒーター4そのものをホットメルト接着剤6中に埋没させた埋没型3bである。当該ホットメルト接着剤6は、主成分が酢酸ビニルからなり120°Cにおける粘度が4000cpsである。

【0038】埋没型3の形状は、配置予定の空間部分2に基づいて定まる。ここで、前記空間部分2中にはレジン106を充填しないものの、熱伝導を行うために内部フイン107が貫通している。このため、埋没型3の形状も、この内部フイン107および外筒105によって規制されることになる。具体的には、同図に示すように、一つの空間部分2に対して金属コア(SUS板)を有する埋没型3aを二つ用意し、金属コア(5)を有しない埋没型3bを一つ用意する。なお、大きな空間を確保する場合には、金属コア(5)を有する埋没型3aを使用し、小さな空間を確保する場合には、金属コア(5)を有しない埋没型3bを用いる。埋没型3aは、金属コア(5)を有するためホットメルト接着剤6の使用量が少なくて済むし、使い回しが良いという利点を有する。

【0039】図5は、熱膨張しろの形成に用いる埋没型を示す斜視図である。この埋没型3cは、ホットメルト接着剤6をシート状に形成し、その内部にヒーター4を埋設した構成である。この埋没型3cは、内部フイン107と内部フイン107との間であって外筒105の内面に展着配置される。

【0040】上記空間部分2の埋没型3a、3bおよび熱膨張しろの埋没型3cをセットした後、胴本体101、外筒105および内部フィン107により構成される空間Tに流動状態のレジン106を順次充填し、当該埋没型3を埋没させる。統いて、レジン106が固化したら、ヒーター4に通電して温度を140℃まで上昇させる。これによりホットメルト接着剤6が溶融してキャスク本体116の下部から流出する。なお、レジン成形時にはキャスク本体116に底板104は取り付けない。かかる工程により、レジン106と外筒105との間に空間部分2および熱膨張しろ108を形成することができる。

【0041】なお、ホットメルト接着剤6を溶融除去しても残留分が残る場合、熱風を当てながら吸引する装置を用いて仕上げを行うようになるのが好ましい。また、上記熱可塑性材料には、ホットメルト接着剤6のほか、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、メタクリル樹脂、ナイロンなど熱可塑性材料として公知のものを適宜使用することができる。

【0042】図6は、上記角パイプの製造方法を示すフローチャートである。まず、アトマイズ法などの急冷凝固法によりA1またはA1合金粉末を作製すると共に(ステップS401)、BまたはB化合物の粉末を用意し(ステップS402)、これら両粒子をクロスロータリーミキサー等によって10～15分間混合する(ステップS403)。

【0043】前記A1またはA1合金には、純アルミニウム地金、A1-Cu系アルミニウム合金、A1-Mg系アルミニウム合金、A1-Mg-Si系アルミニウム合金、A1-Zn-Mg系アルミニウム合金、A1-Fe系アルミニウム合金などを用いることができる。また、前記BまたはB化合物には、B₄C、B₂O₃などを用いることができる。ここで、アルミニウムに対するボロンの添加量は、1.5重量%以上、7重量%以下とするのが好ましい。1.5重量%以下では十分な中性子吸収能力が得られず、7重量%より多くなると引っ張りに対する延びが低下するためである。

【0044】つぎに、混合粉末をラバーケース内に封入し、CIP(Cold Isostatic Press)により常温で全方向から均一に高圧をかけ、粉末成形を行う(ステップS404)。CIPの成形条件は、成形圧力を200MPaとし、成形品の直径が600mm、長さが1500mmになるようにする。CIPによって全方向から均一に圧力を加えることにより、成形密度のばらつきが少ない高密度な成形品を得ることができる。

【0045】統いて、前記粉末成形品を缶に真空封入し、300℃まで昇温する(ステップS405)。この脱ガス工程にて缶内のガス成分および水分を除去する。つぎの工程では、真空脱ガスした成形品をHIP(Hot Isostatic Press)により再成形する(ステップS40

6)。HIPの成形条件は、温度400℃～450℃、時間30sec、圧力6000tとし、成形品の直径が400mmになるようになる。統いて、缶を除去するために外削、端面削を施し(ステップS407)、ポートホール押出機を用いて当該ビレットを熱間押出しする(ステップS408)。この場合の押出条件として、加熱温度を500℃～520℃、押出速度を5m/minとする。なお、押出条件は、Bの含有量により異なるものとなる。

【0046】つぎに、押出成形後、引張矯正を施すと共に(ステップS409)、非定常部および評価部を切断し、製品とする(ステップS410)。完成した角パイプは、図7に示すように、断面の一辺が162mm、内側が151mmの四角形状となる。寸法公差は、要求される規格の関係でマイナス公差を0にとる。また、内側角のRが5mmであるのに対し、外側角のRを0.5mmのシャープエッジに成形する。

【0047】エッジ部分のRが大きい場合、バスケット130に応力が加わると、角パイプ132の特定部位(エッジ近傍)に応力集中が起こって破損の原因となりうる。このため、角パイプ132をシャープエッジにすることで、隣接する角パイプ132に対して応力が素直に伝わるから、角パイプ132の特定部位に対する応力集中を避けることができる。

【0048】図8は、上記角パイプの挿入方法を示す斜視図である。上記工程により製造した角パイプ132は、キャビティ102内の加工形状に沿って順次挿入される。ここで、角パイプ132に曲げとねじれが生じていること、寸法のマイナス公差が0であることから、角パイプ132を適当に挿入しようとすると、公差の累積や曲げの影響を受けて挿入しにくくなり、無理に挿入すると角パイプ132に過剰な応力が加わることになる。そこで、製造した全部または一部の角パイプ132の曲げ及びねじれをレーザ測定器などにより予め測定し、コンピュータを用いることで、当該測定データに基づき最適な挿入位置を割り出すようとする。このようにすれば、キャビティ102内に角パイプ132を容易に挿入することができるし、それぞれの角パイプ132にかかる応力を均一にすることができる。

【0049】また、図8および図3に示すように、キャビティ102のうちセル数が5個または7個となる角パイプ列の両側には、それぞれダミーパイプ133が挿入されている。このダミーパイプ133は、胴本体101の重量を軽減すると共に胴本体101の厚みを均一化すること、角パイプ132を確実に固定することを目的とする。このダミーパイプ133にもボロン入りアルミニウム合金を用い、上記同様の工程により製作する。なお、このダミーパイプ133は省略することもできる。

【0050】つぎに、胴本体101のキャビティ102の加工について説明する。図9はキャビティ102の加

工装置を示す概略斜視図である。この加工装置140は、胴本体101内を貫通すると共にキャビティ102内に載置固定される固定テーブル141と、固定テーブル141上を軸方向に摺動する可動テーブル142と、可動テーブル142上にて位置決め固定されているサドル143と、サドル143上に設けられスピンドル144および駆動モータ145からなるスピンドルユニット146と、スピンドル軸に設けたフェースミル147とから構成されている。また、スピンドルユニット146上には、キャビティ102内形状に従って当接部を成形した反力受け148が設けられている。この反力受け148は、着脱自在であって蟻溝(図示省略)に沿って図中矢印方向にスライドする。また、反力受け148は、スピンドルユニット146に対するクランプ装置149を有しており、所定位置にて固定することができる。

【0051】さらに、固定テーブル141の下部溝内には、複数のクランプ装置150が取り付けられている。このクランプ装置150は、油圧シリンダ151と、油圧シリンダ151の軸に設けたくさび状の移動ブロック152と、当該移動ブロック152と傾斜面で当接する固定ブロック153とから構成されており、図中斜線部側を固定テーブル141の溝内面に取り付けるようとする。油圧シリンダ151の軸を駆動すると、移動ブロック152が固定ブロック153に当接し、くさびの効果により移動ブロック152が多少下方に移動する(図中点線で示す)。これにより、移動ブロック152の下面がキャビティ102内面に押し当てられるから、固定テーブル141をキャビティ102内で固定することができる。

【0052】また、胴本体101はローラからなる回転支持台154上に載せられており、径方向に回転自在となる。また、スピンドルユニット146とサドル143との間にスペーサ155をかますことにより、固定テーブル141上のフェースミル147の高さを調整することができる。スペーサ155の厚さは、上記角パイプ132の一辺の寸法と同じである。サドル143は、移動テーブル142に設けたハンドル156を回転させることにより胴本体101の径方向に移動する。移動テーブル142は、固定テーブル141の端部に設けたサーボモータ157とボールネジ158により移動制御される。なお、加工が進むにつれてキャビティ102内の形状が変わるので、反力受け148やクランプ機構150の移動ブロック152を適当な形状のものに変更する必要がある。

【0053】図10は、キャビティの加工方法を示す概略説明図である。まず、クランプ装置150および反力受け148により固定テーブル141をキャビティ102内の所定位置にて固定する。つぎに、同図(a)に示すように、固定テーブル141に沿ってスピンドルユニット146を所定の切削速度にて移動させ、フェースミ

ル147によるキャビティ102内の切削を行う。当該位置での切削が完了すると、クランプ装置150を外して固定テーブル141を解放する。つぎに同図(b)に示すように、回転支持台154上で胴本体101を90度回転させ、クランプ装置150にて固定テーブル141を固定する。そして上記同様にフェースミル147にて切削を行う。以降、前記同様の工程をさらに2回繰り返す。

【0054】つぎに、スピンドルユニット146を180度回転させ、同図(c)に示すように、順次、キャビティ102内の切削を行う。この場合も、上記同様に胴本体101を90度回転させながら加工を繰り返す。つぎに、同図(d)に示すように、スピンドルユニット146にスペーサ155をかませることで当該スピンドルユニットの位置を高くする。そして、当該位置にてフェースミル147を軸方向に送り、キャビティ102内の切削を行う。これを90度回転させながら繰り返すことで、角パイプ132を挿入するのに必要な形状がほぼ完成する。なお、ダミーパイプ133を挿入する部分の切削も、同図(d)に示すのと同様にして行えばよい。但し、スピンドルユニット146の高さを調整するスペーサ厚は、ダミーパイプ133の一辺と同じにする。

【0055】また、胴本体101の面取部1をフライス加工する場合は、図11に示すように、胴本体101を専用のクランプ装置10によって回転支持台154上で固定し、スピンドルユニット146を固定テーブル141ごと胴本体101の側方に配置する。この状態でフェースミル147を軸方向に送り、胴本体101の面取部1の切削加工を行う。面取部1の一つが加工し終わったら、上記同様にクランプ装置10を外して胴本体101を90度回転させ、切削を続行する。この工程をあと2回繰り返すことで胴本体101の面取部1の加工が終了する。

【0056】キャスク100に収容する使用済み燃料集合体は、核分裂性物質および核分裂生成物などを含み、放射線を発生すると共に崩壊熱を伴うため、キャスク100の除熱機能、遮蔽機能および臨界防止機能を貯蔵期間中、確実に維持する必要がある。この実施の形態1にかかるキャスク100では、胴本体101のキャビティ102内を機械加工して角パイプ132で構成したバスケット130の外側を密着状態(空間領域なし)で挿入するようにしており、さらに、胴本体101と外筒105との間に内部フィン107を設けている。このため、燃料棒からの熱は、角パイプ132或いは充填したヘリウムガスを通じて胴本体101に伝導し、主に内部フィン107を通じて外筒105から放出されることになる。以上から、崩壊熱の除熱を効率的に行うことができるので、崩壊熱量が同じであればキャビティ102内の温度を従来例よりも低く保つことができる。

【0057】また、使用済み燃料集合体から発生するγ

線は、炭素鋼あるいはステンレス鋼からなる胴本体101、外筒105、蓋部109などにおいて遮蔽される。また、中性子はレジン106によって遮蔽され、放射線業務従事者に対する被ばく上の影響をなくすようにしている。具体的には、表面線当量率が2mSv/h以下、表面から1mの線量当量率が100μSv/h以下になるような遮蔽機能が得られるように設計する。さらに、セル131を構成する角パイプ132には、ボロン入りのアルミニウム合金を用いているので、中性子を吸収して使用済み燃料集合体が臨界に達するのを防止することができる。

【0058】以上、この実施の形態1にかかるキャスク100によれば、胴本体101のキャビティ102内を機械加工しバスケット103の外周を構成する角パイプ132を密着状態で挿入するようにしたので、角パイプ132からの熱伝導率を向上させることができる。また、キャビティ102内の空間領域をなくすことができるから、胴本体101をコンパクトかつ軽量にすることができる。なお、この場合であっても、角パイプ132の収容数が減少することはない。逆に、胴本体101の外径を図17に示すキャスクと同じにすれば、それだけセル数を確保できるから、使用済み燃料集合体の収納数を増加することができる。

【0059】また、胴本体101に面取部1を設けると共に空間部分2を設けてレジン106をこの胴本体101の外形に合わせて成形したので、放射線遮蔽に必要十分な厚さを確保しつつ、キャスク100の重量をさらに軽減することができる。具体的に当該キャスク100では、キャスク本体116の外径を例えば2560mm、重量を120tonに抑えて、要求される設計条件(キャスク本体の外径が2764mm以下、重量125ton以下)を満たすうえ、使用済み燃料集合体の収容数を69体にすることを可能にしている。

【0060】つぎに、上記実施の形態1にかかるキャスクの変形例について説明する。図12は、キャスクの変形例を示す径方向断面図である。上記キャスク100では、胴本体101の面取部1を90°毎に4箇所設けたが、同図(a)に示すように、45°毎に面取部1、1aを設けて胴本体101を8角形にしてもよい。また、レジン106の厚さが増加することになるが、当該レジン106に各面取部1に対応する空間部分を設けるようにしてもよい(図示省略)。また、同図(b)に示すように、上記胴本体101の曲面部分を二つの面取部1bに加工するようにしてもよい。いずれの場合も、胴本体101の外形をバスケット130の外形に合わせることが可能であって、キャスク100をさらに軽量かつコンパクトにすることができる。

【0061】図13は、キャスクの他の変形例を示す径方向断面図である。このキャスク200のように、外筒201の形状を変更して上記空間部分2を省略するよう

にしてもよい。実際の製造工程では、レジン106を充填する前に胴本体101と外筒201を内部フィン107で結合しておくので、そのままレジン106を充填できる。このため、上記のような空間部分2を形成する埋没型3が不要になる。ただし、レジン106の熱膨張を吸収する熱膨張しろ108を形成するため、シート状埋没型3cは必要である。かかる構成によれば、さらにキャスク200をさらにコンパクトにすることができる。

【0062】また、上記空間部分2の形成を省略するようにしてもよい。図14に、そのようなキャスク250の径方向断面図を示す。上記キャスク100において、その胴本体101が炭素鋼またはステンレス鋼製でありレジン106が高分子材料製であるから、重量低減の観点から重要なのは胴本体101の形状である。そこで、レジン106の空間部分2の形成を省略して製造工程を簡略化するようにした。かかる構成のキャスク250によれば、製造工程を簡略化できると共にキャスク250の軽量化を図ることができる。

【0063】(実施の形態2) 図15は、この発明の実施の形態2にかかるキャスクを示す径方向断面図である。このキャスク300は、胴本体101のγ線遮蔽性能が不足している部分101aに補助遮蔽体301を設けて所定厚さを確保するようにした点に特徴がある。すなわち、この補助遮蔽体301を設けていない部分101bが、上記実施の形態1のキャスク100における面取部1に実質的に相当する。補助遮蔽体301は、胴本体101と同じ炭素鋼またはステンレス鋼であって、鋳造、鍛造或いは機械加工により製造する。この他の構成は、上記実施の形態1のキャスク100と同様であるから説明を省略し、同要素については同一の符号を付する。このキャスク300によれば、上記同様、キャスク300をコンパクトかつ軽量にすることができる。

【0064】(実施の形態3) 図16は、この発明の実施の形態3にかかるキャスクを示す径方向断面図である。このキャスク400は、上記図17および図18に示したキャスク500の胴本体501の外側面に、90°間隔で4つの面取部401を設けたものである。上記同様、各面取部401は、バスケット509外側の面一部分509aに対向して設けられている。この面取部401は、上記した専用の加工装置により機械加工する。

【0065】また、レジン502は、この胴本体501の外側に密着状態で充填されているが、前記面取部401に対応する位置であって、外筒503とレジン502との間に空間部分402を形成している。胴本体501に面取部401を設けることで、当該部分のレジン502が余計に厚くなってしまうからである。この空間部分402を設けることにより、レジン502の使用量を削減することができる。なお、この他の構成要素については上記キャスク500と同じであるから、その説明を省略する。かかる構成であっても、キャスク400を軽量

かつコンパクトにすることができる。

【0066】

【発明の効果】以上説明したように、この発明にかかるキャスク（請求項1）は、胴本体の外形を前記バスケットの外形に合わせたので、キャスクを軽量化できる。また、この発明にかかるキャスク（請求項2）によれば、胴本体の外形およびキャビティ内形を前記バスケットの外形に合わせたので、キャスクを軽量かつコンパクトにすることができる。

【0067】また、この発明にかかるキャスク（請求項3）では、中性子遮蔽体の形を前記バスケットの外形に合わせたので、キャスクをコンパクトにすることができる、中性子遮蔽体の使用量を削減できる。

【0068】また、この発明にかかるキャスク（請求項4）は、胴本体のキャビティ内形を前記バスケットの外形に合わせると共に、セル内に収容した使用済み燃料集合体から発生する γ 線を遮蔽するのに必要な厚さが得られるように前記胴本体の外側に加工を施したので、キャスクを軽量かつコンパクトにすることができる。

【0069】また、この発明にかかるキャスク（請求項5）は、前記中性子遮蔽体を、前記胴本体の外側に略均一厚さで形成したので、余分な中性子遮蔽体を削減してキャスクをコンパクトにすることができる。

【0070】また、この発明にかかるキャスク（請求項6）は、胴本体のうち、 γ 線の遮蔽厚さに余裕がある部分に面取を設けることで胴本体の外形をバスケットの外形に合わせるようにしたので、キャスクを軽量かつコンパクトにすることができる。

【0071】また、この発明にかかるキャスク（請求項7）は、胴本体のうち、 γ 線の遮蔽厚さが不足する部分に補助遮蔽体を設けることで胴本体の外形をバスケットの外形に合わせるようにしたので、軽量化およびコンパクト化を図ることができる。

【0072】また、この発明にかかるキャスクの製造方法（請求項8）は、予め、前記外筒の内面に埋没型を配置しておき、中性子遮蔽体の充填後に前記埋没型を加熱除去することで外筒との間に膨張しろその他の空間部分を形成するようにした。このため、キャスクの製造が容易になる。

【0073】また、この発明にかかる埋没型（請求項9）は、外筒と充填する中性子遮蔽体との間に形成する膨張しろその他の空間部分の型であり、この型を熱可塑性の材料により成形すると共に当該型にヒーターを埋設し、ヒーターを加熱することで型を溶融除去するようにしたので、キャスクの製造を容易に行うことができる。

【0074】また、この発明にかかる埋没型（請求項10）は、金属コアの周囲に熱可塑性の材料を設けて成形すると共に前記金属コアにヒーターを埋設したので、型の使い回しが容易になってキャスクの製造効率が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態1にかかるキャスクの構成を示す斜視図である。

【図2】図1に示したキャスクの径方向断面図である。

【図3】図1に示したキャスクの軸方向断面図である。

【図4】空間部分の形成に用いる埋没型を示す斜視図である。

【図5】膨張しろの形成に用いる埋没型を示す斜視図である。

【図6】角パイプの製造方法を示すフローチャートである。

【図7】角パイプの断面形状を示す説明図である。

【図8】上記角パイプの挿入方法を示す斜視図である。

【図9】キャビティの加工装置を示す概略斜視図である。

【図10】キャビティの加工方法を示す概略説明図である。

【図11】胴本体の面取部の加工方法を示す説明図である。

【図12】キャスクの変形例を示す径方向断面図である。

【図13】キャスクの他の変形例を示す径方向断面図である。

【図14】キャスクの他の変形例を示す径方向断面図である。

【図15】この発明の実施の形態2にかかるキャスクを示す径方向断面図である。

【図16】この発明の実施の形態3にかかるキャスクを示す径方向断面図である。

【図17】キャスクの一例を示す斜視図である。

【図18】図17に示したキャスクの軸方向断面図である。

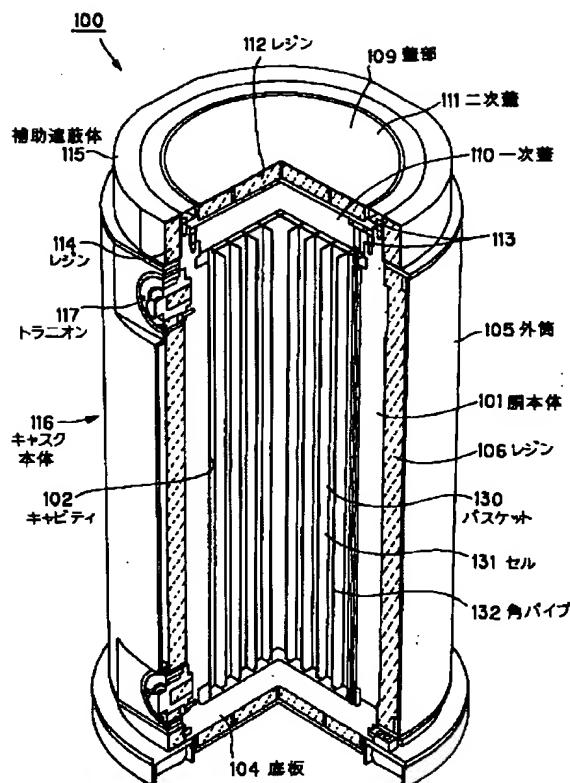
【符号の説明】

- 1 面取部
- 2 空間部分
- 3 埋没型
- 4 ヒーター
- 5 S U S 板
- 6 ホットメルト接着剤
- 100 キャスク
- 101 胴本体
- 102 キャビティ
- 104 底板
- 105 外筒
- 106 レジン
- 107 内部フィン
- 108 熱膨張しろ
- 109 蓋部
- 110 一次蓋
- 111 二次蓋

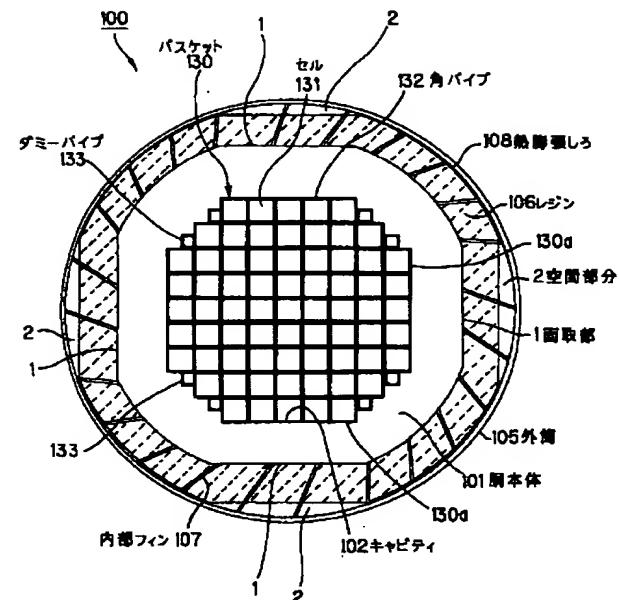
115 補助遮蔽体
116 キャスク本体
117 トランイオン
118 緩衝体

130 バスケット
131 セル
132 角パイプ

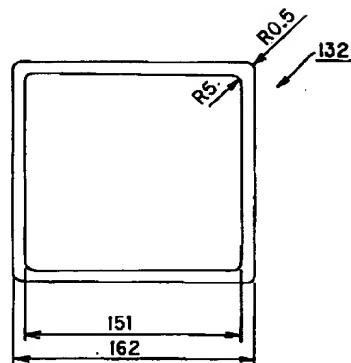
【図1】



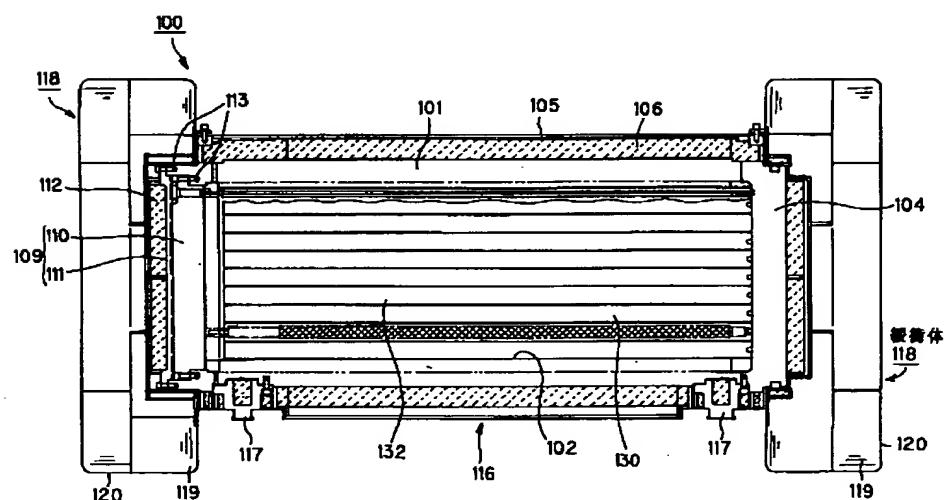
【図3】



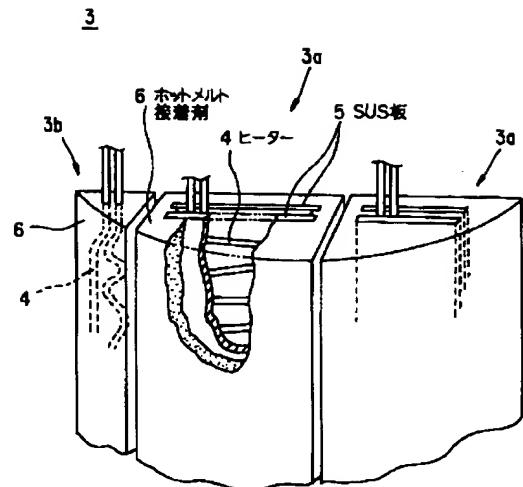
【図7】



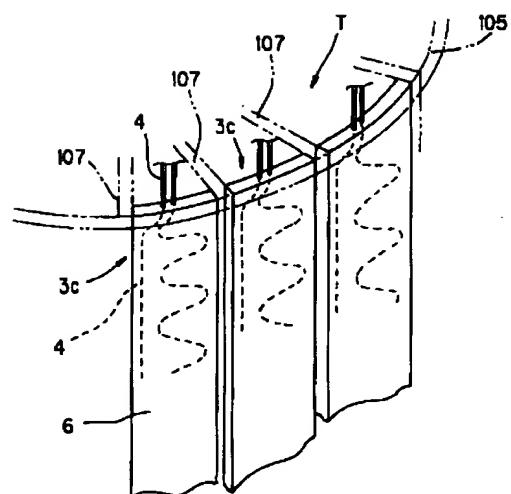
【図2】



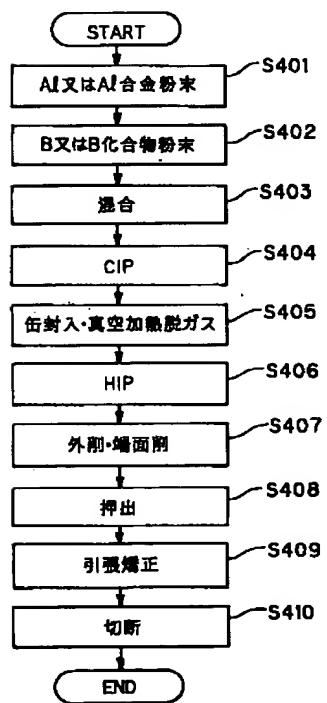
【図4】



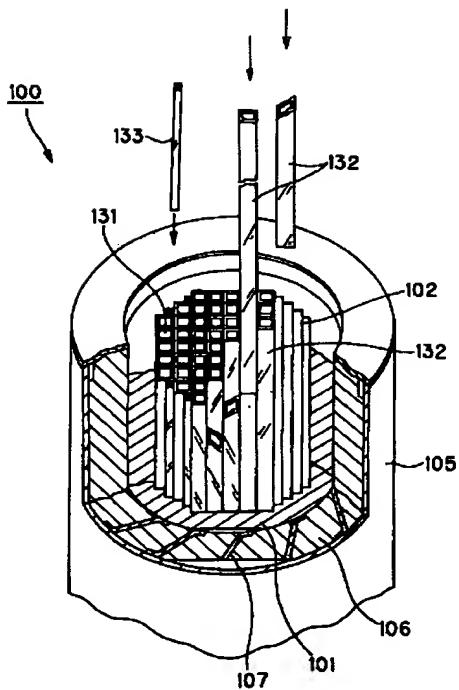
【図5】



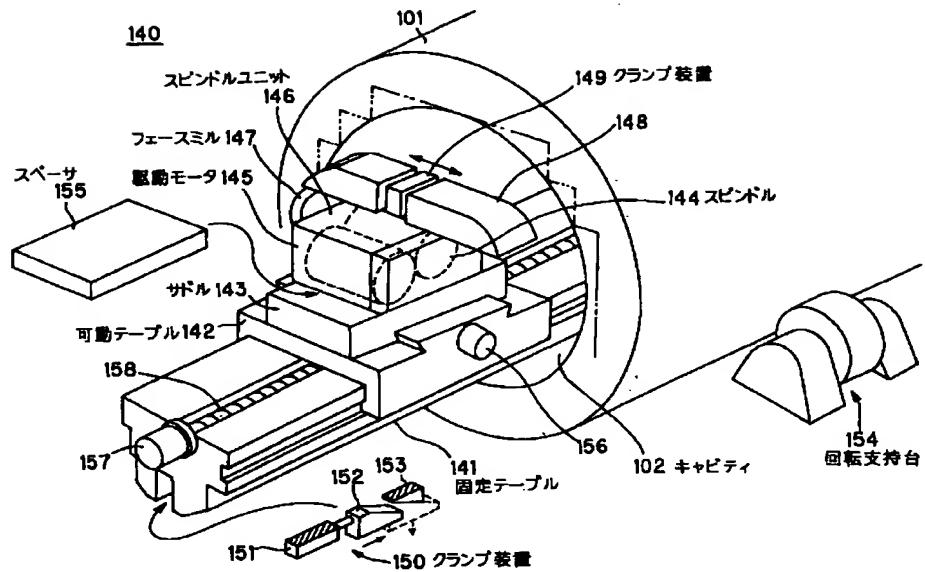
【図6】



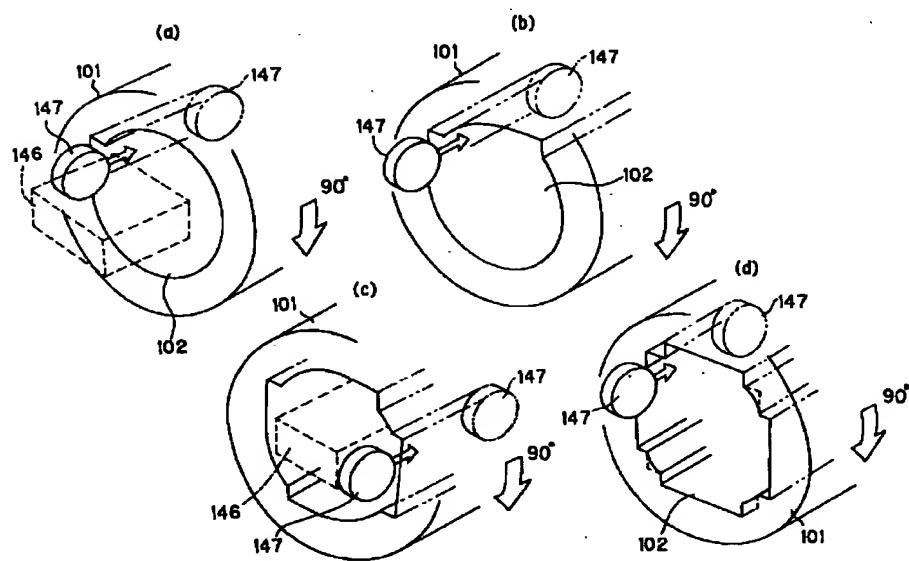
【図8】



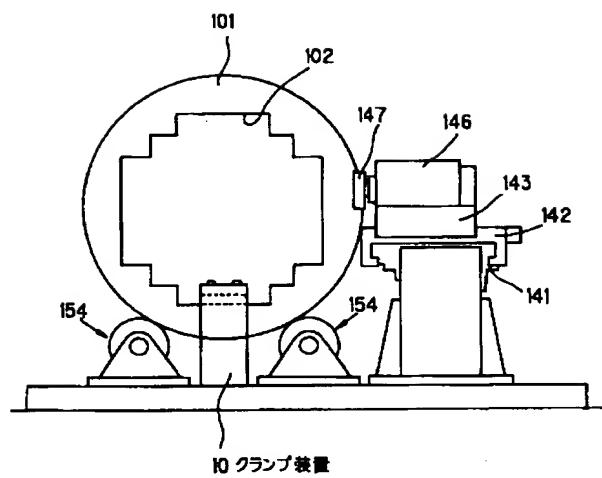
【図9】



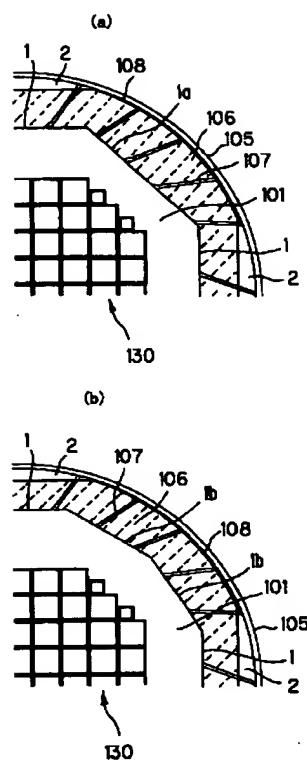
【図10】



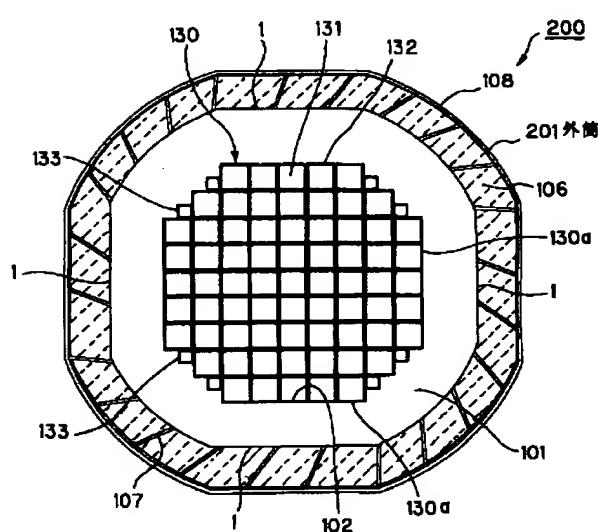
【図11】



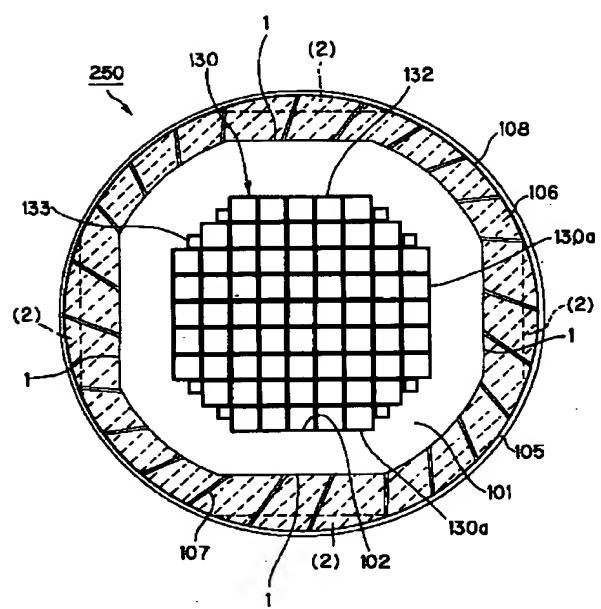
【図12】



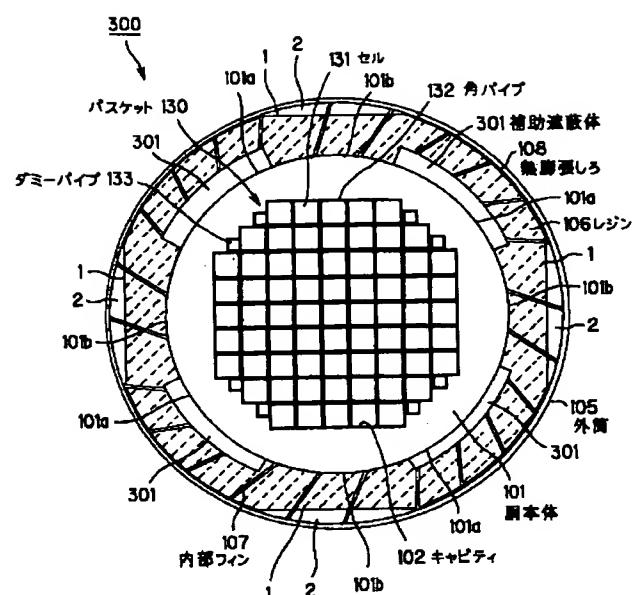
【図13】



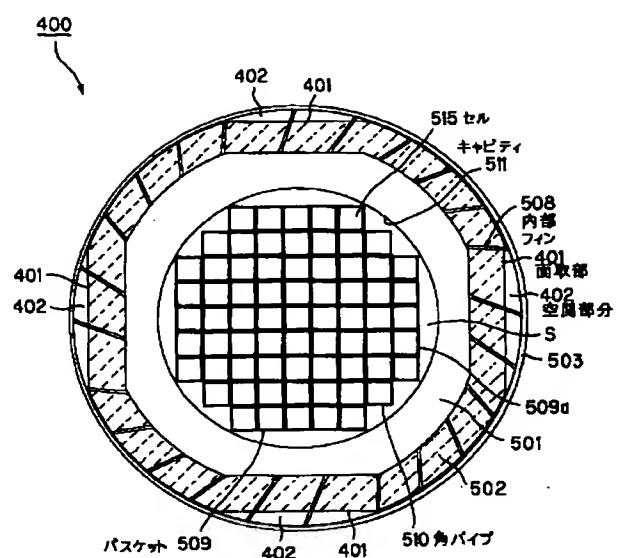
【図14】



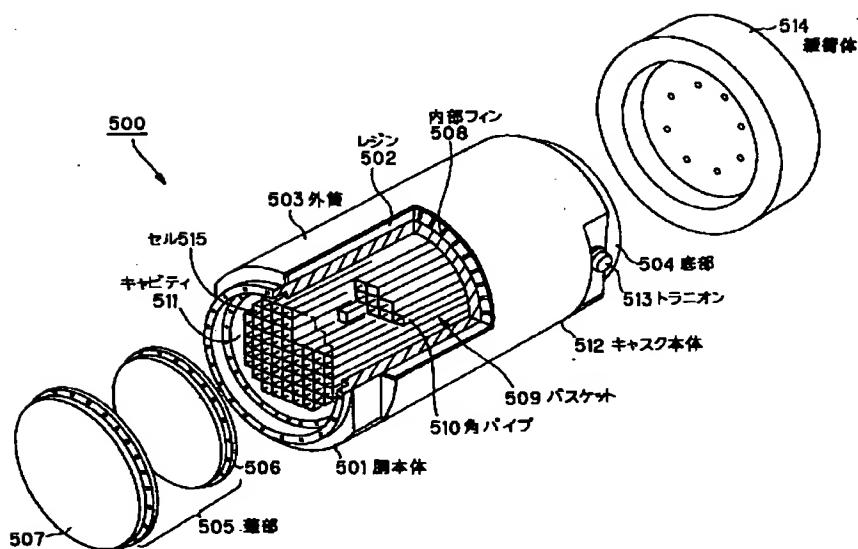
【図15】



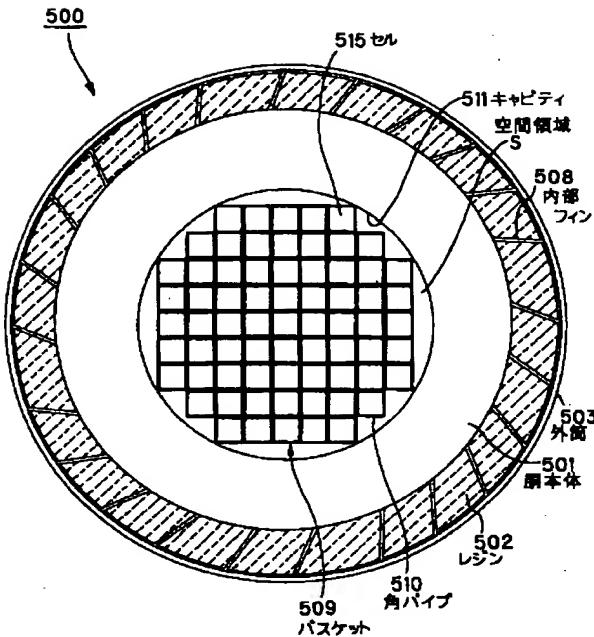
【図16】



【図17】



【図18】



【手続補正書】

【提出日】平成12年7月4日(2000.7.4)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0004

【補正方法】変更

【補正内容】

【0004】胴本体501と外筒503との間には、熱伝導を行う複数の内部フィン508が設けられている。内部フィン508は、熱伝導効率を高めるためその材料には銅を用いる。レジン502は、この内部フィン508により形成される空間に流動状態で注入され、熱硬化反応等で固化形成する。バスケット509は、69本の角パイプ510を図17のような束状に集合させた構造であり、胴本体501のキャビティ511内に挿入している。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0047

【補正方法】変更

【補正内容】

【0047】エッジ部分のRが大きい場合、バスケット130に応力が加わると、角パイプ132の特定部位(エッジ近傍)に応力集中が起こって破損の原因となりうる。このため、角パイプ132をシャープエッジにすることによって、隣接する角パイプ132に対して荷重が直接的に伝わるから、角パイプ132の特定部位に対する応

力集中を避けることができる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0048

【補正方法】変更

【補正内容】

【0048】図8は、上記角パイプの挿入方法を示す斜視図である。上記工程により製造した角パイプ132は、キャビティ102内の加工形状に沿って順次挿入される。ここで、角パイプ132に曲げとねじれが生じていること、寸法のマイナス公差が0であることから、角パイプ132を適当に挿入しようとすると、公差の累積や曲げの影響を受けて挿入しにくくなり、無理に挿入すると角パイプ132に過剰な荷重が加わることになる。そこで、製造した全部または一部の角パイプ132の曲げ及びねじれをレーザ測定器などにより予め測定し、コンピュータを用いることで、当該測定データに基づき最適な挿入位置を割り出すようとする。このようにすれば、キャビティ102内に角パイプ132を容易に挿入することができるし、それぞれの角パイプ132にかかる応力を均一にすることができる。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0052

【補正方法】変更

【補正内容】

【0052】また、胴本体101はローラからなる回転支持台154上に載せられており、径方向に回転自在となる。また、スピンドルユニット146とサドル143との間にスペーサ155をかますことにより、固定テーブル141上のフェースミル147の高さを調整することができる。スペーサ155の厚さは、上記角パイプ132の一辺の寸法と同じである。サドル143は、移動テーブル142に設けたハンドル156を回転させることにより胴本体101の径方向に移動する。移動テーブル142は、固定テーブル141の端部に設けたサーボモータ157とボールネジ158により移動制御される。なお、加工が進むにつれてキャビティ102内の形状が変わるので、反力受け148やクランプ機構150の移動ブロック152を適当な形状のものに変更する。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0056

【補正方法】変更

【手続補正書】

【提出日】平成12年11月10日(2000.11.10)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】キャスクおよびキャスクの製造方法、並びに埋没型

【特許請求の範囲】

【請求項1】 γ 線の遮蔽を行う鍛造一体構造の胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより角断面形状の格子状セルを構成するバスケットとを備え、前記胴本体の一部または全部の外形を、前記角断面の頂点を繋いで形成される形状に合わせ、セル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたことを特徴とするキャスク。

【請求項2】 γ 線の遮蔽を行う胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより平面と段状部分を有する格子状セルを構成するバスケットとを備え、前記胴本体の外形の前記段状部分に対応する部分を当該段状の頂点を結ぶ直線と平行にし、セル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたことを特徴とするキャスク。

【請求項3】 γ 線の遮蔽を行う胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより角断面形状の格子状セルを構成するバスケットとを備え、前記胴本体のキャビティ内形を前記

【補正内容】

【0056】キャスク100に収容する使用済み燃料集合体は、核分裂性物質および核分裂生成物などを含み、放射線を発生すると共に崩壊熱を伴うため、キャスク100の除熱機能、遮蔽機能および臨界防止機能を貯蔵期間中、確実に維持する必要がある。この実施の形態1にかかるキャスク100では、胴本体101のキャビティ102内を機械加工して角パイプ132で構成したバスケット130の外側を密着状態(空間領域なし)で挿入するようにしており、さらに、胴本体101と外筒105との間に内部フィン107を設けている。このため、燃料棒からの熱は、角パイプ132或いは充填したヘリウムガスを通じて胴本体101に良好に伝導し、主に内部フィン107を通じて外筒105から放出されることになる。以上から、崩壊熱の除熱を効率的に行うことができるので、崩壊熱量が同じであればキャビティ102内の温度を従来例よりも低く保つことができる。

バスケットの角断面形状の外形に合わせると共に前記胴本体の外形を8角形または12角形とし、その一部または全部の辺が前記角断面の頂点を繋いで形成される直線と平行となるようにし、セル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたことを特徴とするキャスク。

【請求項4】 γ 線の遮蔽を行う胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能を有する複数の角パイプをキャビティ内に挿入した状態で当該角パイプにより構成される角断面形状のバスケットとを備え、前記胴本体の一部または全部の外形を、前記角断面の頂点を繋いで形成される形状に合わせる共に、胴本体のキャビティ内形を前記バスケットの外形に合わせ、前記キャビティ内にバスケットを挿入し、そのセル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたことを特徴とするキャスク。

【請求項5】さらに、前記中性子遮蔽体の形を、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより角断面形状の格子状セルを構成するバスケットの前記角断面の頂点を繋いで形成される形状に合わせたことを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載のキャスク。

【請求項6】さらに、胴本体のうち、 γ 線の遮蔽厚さに余裕がある部分に加工面を設けることで、胴本体の外形を、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより角断面形状の格子状セルを構成するバスケットの前記角断面の頂点を繋いで形成される形状に合わせるようにしたことを特徴とする請求項1～5のいずれか一つに記載のキャスク。

【請求項7】さらに、胴本体のうち、 γ 線の遮蔽厚さ

が不足する部分に補助遮蔽体を設けることで胴本体の外形を、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより角断面形状の格子状セルを構成するバスケットの前記角断面の頂点を繋いで形成される形状に合わせるようにしたことを特徴とする請求項1～5のいずれか一つに記載のキャスク。

【請求項8】 γ 線の遮蔽を行う鍛造一体構造の胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより角断面形状の格子状セルを構成するバスケットとを備え、前記胴本体のキャビティ内形を前記バスケットの角断面形状の外形に合わせると共に、セル内に収容した使用済み燃料集合体から発生する γ 線を遮蔽するのに必要十分な厚さを持った形状に前記胴本体の外側に加工を施し、セル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたことを特徴とするキャスク。

【請求項9】 さらに、前記中性子遮蔽体を、前記胴本体の外側に略均一厚さで形成したことを特徴とする請求項8に記載のキャスク。

【請求項10】 γ 線の遮蔽を行う胴本体と、その外側に設けた外筒とを備え、当該胴本体および外筒との間に中性子を遮蔽する中性子遮蔽体を充填するにあたり、予め、前記外筒の内面に埋没型を配置しておき、中性子遮蔽体の充填後に前記埋没型を加熱除去することで外筒との間に膨張しろその他の空間部分を形成するようにしたことを特徴とするキャスクの製造方法。

【請求項11】 γ 線の遮蔽を行う胴本体の外側に設けた外筒の内側に配置し、当該外筒と充填する中性子遮蔽体との間に形成する膨張しろその他の空間部分の型であり、この型を熱可塑性の材料により成形すると共に当該型にヒーターを埋設したことを特徴とする埋没型。

【請求項12】 γ 線の遮蔽を行う胴本体の外側に設けた外筒の内側に配置し、当該外筒と充填する中性子遮蔽体との間に形成する膨張しろその他の空間部分の型であり、この型を金属コアの周囲に熱可塑性の材料を設けて成形すると共に前記金属コアにヒーターを埋設したことを特徴とする埋没型。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、燃焼を終えた使用済み燃料集合体を収容、貯蔵するものであって、コンパクト化あるいは軽量化することのできるキャスクおよびキャスクの製造方法、並びに埋没型に関する。

【0002】

【従来の技術】 核燃料サイクルの終期にあって燃焼を終え使用できなくなった核燃料集合体を、使用済み核燃料という。使用済み核燃料は、FPなど高放射能物質を含むので熱的に冷却する必要があるから、原子力発電所の冷却ピットで所定期間（3～6ヶ月間）冷却される。その後、遮蔽容器であるキャスクに収納され、トラック等

で再処理施設に搬送、貯蔵される。使用済み核燃料集合体をキャスク内に収容するにあたっては、バスケットと称する格子状断面を有する保持要素を用いる。当該使用済み核燃料集合体は、当該バスケットに形成した複数の収納空間であるセルに1体ずつ挿入され、これにより、輸送中の振動などに対する適切な保持力を確保している。以下に本発明の開発にあたり、その前提となったキャスクについて説明する。なお、当該キャスクは、説明の便宜のために示すものであり、いわゆる公知、公用に該当するものではない。

【0003】 図17は、キャスクの一例を示す斜視図である。図18は、図17に示したキャスクの径方向断面図である。キャスク500は、筒形状の胴本体501と、胴本体501の外周に設けた中性子遮蔽体であるレジン502と、その外筒503、底部504および蓋部505から構成されている。胴本体501および底部504は、 γ 線遮蔽体である炭素鋼製の鍛造品である。また、蓋部505は、ステンレス鋼製等の一次蓋506および二次蓋507からなる。胴本体501と底部504は、突き合わせ溶接により結合してある。一次蓋506および二次蓋507は、胴本体501に対してステンレス製等のボルトにより固定されている。蓋部505と胴本体501との間には、金属製のOリングが介在し、内部の気密を保持している。

【0004】 胴本体501と外筒503との間には、熱伝導を行う複数の内部フィン508が設けられている。内部フィン508は、熱伝導効率を高めるためその材料には銅を用いる。レジン502は、この内部フィン508により形成される空間に流動状態で注入され、熱硬化反応等で固化形成する。バスケット509は、69本の角パイプ510を図17のような束状に集合させた構造であり、胴本体501のキャビティ511内に挿入してある。

【0005】 符号515は、使用済み核燃料集合体を収容するセルである。当該角パイプ510は、挿入した使用済み核燃料集合体が臨界に達しないよう中性子吸収材（ホウ素：B）を混合したアルミニウム合金からなる。なお、キャスク本体512の両側には、キャスク500を吊り下げるためのトラニオン513が設けられている（一方は省略）。また、キャスク本体512の両端部には内部に緩衝材として木材などを組み込んだ緩衝体514が取り付けられている（一方は省略）。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、上記したようなキャスク500は、輸送する際の取り扱い容易化や貯蔵する際の省スペース化の観点から、コンパクトかつ軽量であることが望ましい。しかしながら、上記キャスク500の構成によれば、キャビティ511内面に対して最外周の角パイプ510で線接触することになるから、バスケット509とキャビティ511の間に空間領

域Sが生じて胴本体501の径が大きくなり、キャスク500が重くなってしまう。

【0007】これに対し、キャスク外部に漏れる放射線量は、中性子およびγ線の総量で規制されているから、キャスク500の軽量化を図るには胴本体501の厚さを小さくすればよいことになる。しかし、γ線遮蔽体でもあるから、胴本体501側にγ線遮蔽性能を確保するだけの厚さが要求されることになるが、この場合でも、γ線の遮蔽をするのに必要十分な範囲に収めるべきである。余分な肉厚はキャスクの軽量化を妨げるからである。

【0008】そこで、この発明は、上記に鑑みてなされたものであって、コンパクト化あるいは軽量化することのできるキャスクおよびキャスクの製造方法、並びに埋没型を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、請求項1にかかるキャスクは、γ線の遮蔽を行う鍛造一体構造の胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより角断面形状の格子状セルを構成するバスケットとを備え、前記胴本体の一部または全部の外形を、前記角断面の頂点を繋いで形成される形状に合わせ、セル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたものである。

【0010】つぎに、請求項2にかかるキャスクは、γ線の遮蔽を行う胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより平面と段状部分を有する格子状セルを構成するバスケットとを備え、前記胴本体の外形の前記段状部分に対応する部分を当該段状の頂点を結ぶ直線と平行にし、セル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたものである。

【0011】つぎに、請求項3にかかるキャスクは、γ線の遮蔽を行う胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより角断面形状の格子状セルを構成するバスケットとを備え、前記胴本体のキャビティ内形を前記バスケットの角断面形状の外形に合わせると共に前記胴本体の外形を8角形または12角形とし、その一部または全部の辺が前記角断面の頂点を繋いで形成される直線と平行となるようにし、セル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたことを特徴とするキャスク。

【0012】このキャスクでは、胴本体の外形をバスケットの外形に合わせているため、γ線遮蔽能に余裕がある部分が取り除かれて、胴本体の軽量化を図ることが可能になる。また、胴本体の外周に設けた中性子遮蔽体を胴本体の外形に合わせた形状にすれば、キャスクのコンパクト化を図ることが可能になる。

【0013】また、胴本体の外形をバスケットの外形に

合わせるとは、当該胴本体外形を、バスケット外側面の大きな平面部分のみに合わせた形状にすること、バスケットを構成する角パイプの頂点を結んだ形状の相似形状にすること、バスケットの外形に対する忠実な相似形状とすることなどの当業者が推知可能な範囲で適宜形成することを意味するものとする。

【0014】つぎに、請求項4にかかるキャスクは、γ線の遮蔽を行う胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能を有する複数の角パイプをキャビティ内に挿入した状態で当該角パイプにより構成される角断面形状のバスケットとを備え、前記胴本体の一部または全部の外形を、前記角断面の頂点を繋いで形成される形状に合わせる共に、胴本体のキャビティ内形を前記バスケットの外形に合わせ、前記キャビティ内にバスケットを挿入し、そのセル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたものである。

【0015】このキャスクでは、キャビティ内形をバスケットの外形に合わせることにより、空間領域が埋められて胴本体の外径が小さくなるが、それだけでは厚みが不均一になってしまふため、胴本体のキャビティ内のみならずその外形についてもバスケットの外形に合わせるようにしている。このため、γ線遮蔽能に余裕がある部分が取り除かれて、胴本体の軽量化を図ることが可能になる。また、胴本体が小さくなる分、中性子遮蔽体の外径を小さく抑えることができるから、キャスクのコンパクト化を図ることが可能になる。

【0016】また、胴本体の外形をバスケットの外形に合わせることの意味は上記した通りであり、胴本体のキャビティ内形についても、バスケットの外形と一致した形状の他、常識的範囲でその一部がバスケット外形と一致していない場合を含むものとする。なお、胴本体を上記形状にすることで、外側の角パイプがキャビティ内面に面接触することになるから、前記セル内の使用済み燃料集合体から発生した崩壊熱は、キャスクから胴本体へと効率的に伝導するようになる。また、前記角パイプは中性子吸収機能を有するから、使用済み燃料集合体を収納した場合でも臨界に達することはない。

【0017】つぎに、請求項5にかかるキャスクは、上記キャスクにおいて、さらに、前記中性子遮蔽体の形を、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより角断面形状の格子状セルを構成するバスケットの前記角断面の頂点を繋いで形成される形状に合わせたものである。

【0018】すなわち、中性子遮蔽体の形をバスケットの外形に合わせることにより、胴本体の形状との相乗効果で、さらにキャスクをコンパクトにすることができる。また、胴本体の外形をバスケットの外形に合わせたことにより中性子遮蔽体の厚さに余裕のある部分が生じるが、中性子遮蔽体自体をバスケットの外形に合わせることで、中性子遮蔽体の使用量を適切に削減することができる。

【0019】また、中性子遮蔽体の形をバスケットの外形に合わせるとは、上記同様、当該中性子遮蔽体の形を、バスケット外側面の大きな平面部分のみに合わせた形状にすること、バスケットを構成する角パイプの頂点を結んだ形状の相似形状にすること、バスケットの外形に対する忠実な相似形状とすることなどの当業者が推知可能な範囲で適宜形成することを意味するものとする。

【0020】つぎに、請求項6にかかるキャスクは、上記キャスクにおいて、さらに、胴本体のうち、 γ 線の遮蔽厚さに余裕がある部分に加工面を設けることで、胴本体の外形を、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより角断面形状の格子状セルを構成するバスケットの前記角断面の頂点を繋いで形成される形状に合わせるようにしたものである。

【0021】 γ 線遮蔽厚さに余裕があるとそれだけキャスクが重くなってしまうから、 γ 線遮蔽能を最低限確保できる範囲で胴本体に加工面を設けるようにした。このようにすれば、キャスクを軽量化できると共にコンパクト化することができる。

【0022】つぎに、請求項7にかかるキャスクは、上記キャスクにおいて、さらに、胴本体のうち、 γ 線の遮蔽厚さが不足する部分に補助遮蔽体を設けることで胴本体の外形を、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより角断面形状の格子状セルを構成するバスケットの前記角断面の頂点を繋いで形成される形状に合わせるようにしたものである。

【0023】また、胴本体の γ 線遮蔽能に余裕を持たせて当該部分を削除する方法に対し、 γ 線遮蔽能がある部分で不足するような厚さの胴本体を用意し、この不足部分に補助遮蔽体を設けるようにしてもよい。このようにしても、胴本体全体として必要な γ 線遮蔽能を確保して、軽量化およびコンパクト化を図ることができる。

【0024】つぎに、請求項8にかかるキャスクは、 γ 線の遮蔽を行う鍛造一体構造の胴本体と、胴本体の外側に設けた中性子遮蔽体と、中性子吸収能を有する複数の角パイプにより角断面形状の格子状セルを構成するバスケットとを備え、前記胴本体のキャビティ内形を前記バスケットの角断面形状の外形に合わせると共に、セル内に収容した使用済み燃料集合体から発生する γ 線を遮蔽するのに必要十分な厚さを持った形状に前記胴本体の外側に加工を施し、セル内に使用済み燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたものである。

【0025】胴本体のキャビティ内径をバスケットの外形に合わせることで、胴本体の厚さに不均一が生じてくる。このため、胴本体に γ 線遮蔽に余裕がある部分が生じることになるが、軽量化の観点から好ましいものではない。そこで、余裕がある部分に加工を施して γ 線の遮蔽に必要な厚さを最低限確保するようにした。これにより、胴本体を軽量化できると共にコンパクト化することができる。

【0026】つぎに、請求項9にかかるキャスクは、上記キャスクにおいて、さらに、前記中性子遮蔽体を、前記胴本体の外側に略均一厚さで形成したものである。胴本体を加工しその外形を変形すると、そのまま中性子遮蔽体を設けたのでは当該中性子遮蔽体にも中性子遮蔽に余裕のある部分が生じてしまう。そこで、中性子遮蔽体を胴本体の外側に略均一厚さで形成することで、中性子遮蔽能が全体的に均一になるようにした。かかる構成によれば、中性子遮蔽体を削減できると共にキャスクの外径を小さくすることができる。

【0027】つぎに、請求項10にかかるキャスクの製造方法は、 γ 線の遮蔽を行う胴本体と、その外側に設けた外筒とを備え、当該胴本体および外筒との間に中性子を遮蔽する中性子遮蔽体を充填するにあたり、予め、前記外筒の内面に埋没型を配置しておき、中性子遮蔽体の充填後に前記埋没型を加熱除去することで外筒との間に膨張しろその他の空間部分を形成するものである。

【0028】この製造方法は、具体的には中性子遮蔽体を上記請求項3および5に記載したような形状に成形するにあたり用いるものであり、また、中性子遮蔽体と外筒との間には膨張しろが設けられるが、この膨張しろの形成にも使用可能なものである。埋没型には、たとえば酢酸ビニルを主成分としたホットメルト接着剤を用いる。加熱形態は、キャスク全体を加熱してもよいし、埋没型のみを選択的に加熱するようにしてもよい。このようにして中性子遮蔽体を形成するようにすれば、キャスクの製造が容易になる。

【0029】つぎに、請求項11にかかる埋没型は、 γ 線の遮蔽を行う胴本体の外側に設けた外筒の内側に配置し、当該外筒と充填する中性子遮蔽体との間に形成する膨張しろその他の空間部分の型であり、この型を熱可塑性の材料により成形すると共に当該型にヒーターを埋設したものである。

【0030】外筒の内側に埋没型を配置しておき、この状態で胴本体と外筒との間に中性子遮蔽体を充填する。そして、埋没型に設けたヒーターに通電することで周囲の熱可塑性材料を溶かし、外筒内から除去する。これにより、膨張しろその他の空間部分を形成することができる。この埋没型を用いれば、中性子遮蔽体の成形が簡単になるので、キャスクの製造を容易に行うことができる。

【0031】つぎに、請求項12にかかる埋没型は、 γ 線の遮蔽を行う胴本体の外側に設けた外筒の内側に配置し、当該外筒と充填する中性子遮蔽体との間に形成する膨張しろその他の空間部分の型であり、この型を金属コアの周囲に熱可塑性の材料を設けて成形すると共に前記金属コアにヒーターを埋設したものである。

【0032】金属コアの周囲に熱可塑性の材料を設け、ヒーター加熱で当該金属コアを加熱し周囲の熱可塑性材料のみを溶かすようにしたので、型の使い回しが容易に

なる。このため、キャスクの製造効率を向上することができる。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、この発明にかかるキャスクおよびキャスクの製造方法、並びに埋没型の実施の形態につき図面を参照しつつ詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

【0034】（実施の形態1）図1は、この発明の実施の形態1にかかるキャスクを示す斜視図である。図2は、図1に示したキャスクの径方向断面図である。図3は、図1に示したキャスクの軸方向断面図である。この実施の形態1にかかるキャスク100は、胴本体101のキャビティ102内面をバスケット130の外周形状に合わせて機械加工したものである。キャビティ102内面の機械加工は、後述する専用の加工装置によって加工する。胴本体101および底板104は、 γ 線遮蔽機能を有する炭素鋼製の鍛造品である。なお、炭素鋼の代わりにステンレス鋼を用いることもできる。前記胴本体101と底板104は、溶接により結合する。また、耐圧容器としての密閉性能を確保するため、一次蓋110と胴本体101との間には金属ガスケットを設けておく。

【0035】胴本体101と外筒105との間には、水素を多く含有する高分子材料であって中性子遮蔽機能を有するレジン106が充填されている。また、胴本体101と外筒105との間には熱伝導を行う複数の銅製内部フイン107が溶接されており、前記レジン106は、この内部フイン107によって形成される空間に流動状態で注入され、熱硬化反応等で固化される。なお、内部フイン107は、放熱を均一に行うため、熱量の多い部分に高い密度で設けるようにするのが好ましい。また、レジン106と外筒105との間には、数mmの熱膨張しろ108が設けられる。

【0036】蓋部109は、一次蓋110と二次蓋111により構成される。この一次蓋110は、 γ 線を遮蔽するステンレス鋼または炭素鋼からなる円盤形状である。また、二次蓋111もステンレス鋼製または炭素鋼製の円盤形状であるが、その上面には中性子遮蔽体としてレジン112が封入されている。一次蓋110および二次蓋111は、ステンレス製または炭素鋼のボルト113によって胴本体101に取り付けられている。さらに、一次蓋110および二次蓋111と胴本体101との間にはそれぞれ金属ガスケットが設けられ、内部の密封性を保持している。また、蓋部109の周囲には、レジン114を封入した補助遮蔽体115が設けられている。

【0037】キャスク本体116の両側には、キャスク100を吊り下げるためのトラニオン117が設けられている。なお、図1では、補助遮蔽体115を設けたものを示したが、キャスク100の搬送時には補助遮蔽材

115を取り外して緩衝体118を取り付ける（図2参照）。緩衝体118は、ステンレス鋼材により作成した外筒120内に木材などの緩衝材119を組み込んだ構造である。バスケット130は、使用済み燃料集合体を収容するセル131を構成する69本の角パイプ132からなる。角パイプ132には、A1またはA1合金粉末に中性子吸収性能を持つBまたはB化合物の粉末を添加したアルミニウム複合材またはアルミニウム合金を用いる。また、中性子吸収材としては、ボロンの他にカドミウムを用いることができる。

【0038】また、胴本体101の外側面には、90°間隔で4つの面取部1が設けられている。各面取部1は、バスケット130外側の面一部分130aに対向して設けられている。この面取部1は、後述する専用の加工装置により機械加工する。加工前は、当該部分が余計に厚くなってしまっており γ 線の遮蔽性能に余裕があったが、この面取加工を施すことにより、胴本体101の厚さが略均一になるとともに胴本体101の重量を軽くすることができる。また、 γ 線遮蔽性能は必要十分な範囲で確保される。

【0039】上記レジン106は、この胴本体101の外側に密着状態で充填されているが、前記面取部1に対応する位置であって、外筒105とレジン106との間に空間部分2を形成している。胴本体101に面取部1を設けることで、当該部分のレジン106が余計に厚くなってしまうからである。この空間部分2を設けることにより、レジン106の厚さを均一にして中性子遮蔽性能を平均化すると共にレジン106の使用量を削減することができる。

【0040】つぎに、上記熱膨張しろ108と、空間部分2の形成方法について説明する。図4は、空間部分2の形成に用いる埋没型を示す斜視図である。この埋没型3には2種類のものがあり、その一つはヒーター4をSUS板5で挟んでその周囲に熱可塑性材料であるホットメルト接着剤6（ジェットメルトEC-3762LM：住友3M社製）を設けた埋没型3aであり、もう一つはヒーター4そのものをホットメルト接着剤6中に埋没させた埋没型3bである。当該ホットメルト接着剤6は、主成分が酢酸ビニルからなり120°Cにおける粘度が4000cpsである。

【0041】埋没型3の形状は、配置予定の空間部分2に基づいて定まる。ここで、前記空間部分2中にはレジン106を充填しないものの、熱伝導を行うために内部フイン107が貫通している。このため、埋没型3の形状も、この内部フイン107および外筒105によって規制されることになる。具体的には、同図に示すように、一つの空間部分2に対して金属コア（SUS板5）を有する埋没型3aを二つ用意し、金属コア（5）を有しない埋没型3bを一つ用意する。なお、大きな空間を確保する場合には、金属コア（5）を有する埋没型3a

を使用し、小さな空間を確保する場合には、金属コア(5)を有しない埋没型3bを用いる。埋没型3aは、金属コア(5)を有するためホットメルト接着剤6の使用量が少なくて済むし、使い回しが良いという利点を有する。

【0042】図5は、熱膨張しろの形成に用いる埋没型を示す斜視図である。この埋没型3cは、ホットメルト接着剤6をシート状に形成し、その内部にヒーター4を埋設した構成である。この埋没型3cは、内部フィン107と内部フィン107との間であって外筒105の内面に展着配置される。

【0043】上記空間部分2の埋没型3a、3bおよび熱膨張しろの埋没型3cをセットした後、胴本体101、外筒105および内部フィン107により構成される空間Tに流動状態のレジン106を順次充填し、当該埋没型3を埋没させる。続いて、レジン106が固化したら、ヒーター4に通電して温度を140℃まで上昇させる。これによりホットメルト接着剤6が溶融してキャスク本体116の下部から流出する。なお、レジン成形時にはキャスク本体116に底板104は取り付けない。かかる工程により、レジン106と外筒105との間に空間部分2および熱膨張しろ108を形成することができる。

【0044】なお、ホットメルト接着剤6を溶融除去しても残留分が残る場合、熱風を当てながら吸引する装置を用いて仕上げを行うようにするのが好ましい。また、上記熱可塑性材料には、ホットメルト接着剤6のほか、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、メタクリル樹脂、ナイロンなど熱可塑性材料として公知のものを適宜使用することができる。

【0045】図6は、上記角パイプの製造方法を示すフローチャートである。まず、アトマイズ法などの急冷凝固法によりA1またはA1合金粉末を作製すると共に(ステップS401)、BまたはB化合物の粉末を用意し(ステップS402)、これら両粒子をクロスロータリーミキサー等によって10~15分間混合する(ステップS403)。

【0046】前記A1またはA1合金には、純アルミニウム地金、A1-Cu系アルミニウム合金、A1-Mg系アルミニウム合金、A1-Mg-Si系アルミニウム合金、A1-Zn-Mg系アルミニウム合金、A1-Fe系アルミニウム合金などを用いることができる。また、前記BまたはB化合物には、B4C、B2O3などを用いることができる。ここで、アルミニウムに対するボロンの添加量は、1.5重量%以上、7重量%以下とするのが好ましい。1.5重量%以下では十分な中性子吸収能力が得られず、7重量%より多くなると引っ張りに対する延びが低下するためである。

【0047】つぎに、混合粉末をラバーケース内に封入し、CIP(Cold Isostatic Press)により常温で全方

向から均一に高圧をかけ、粉末成形を行う(ステップS404)。CIPの成形条件は、成形圧力を200MPaとし、成形品の直径が600mm、長さが1500mmになるようとする。CIPによって全方向から均一に圧力を加えることにより、成形密度のばらつきが少ない高密度な成形品を得ることができる。

【0048】続いて、前記粉末成形品を缶に真空封入し、300℃まで昇温する(ステップS405)。この脱ガス工程にて缶内のガス成分および水分を除去する。つぎの工程では、真空脱ガスした成形品をHIP(Hot Isostatic Press)により再成形する(ステップS406)。HIPの成形条件は、温度400℃~450℃、時間30sec、圧力6000tとし、成形品の直径が400mmになるようとする。続いて、缶を除去するために外削、端面削を施し(ステップS407)、ポートホール押出機を用いて当該ビレットを熱間押出しする(ステップS408)。この場合の押出条件として、加熱温度を500℃~520℃、押出速度を5m/minとする。なお、押出条件は、Bの含有量により異なるものとなる。

【0049】つぎに、押出成形後、引張矯正を施すと共に(ステップS409)、非定常部および評価部を切断し、製品とする(ステップS410)。完成した角パイプは、図7に示すように、断面の一辺が162mm、内側が151mmの四角形状となる。寸法公差は、要求される規格の関係でマイナス公差を0にとる。また、内側角のRが5mmであるのに対し、外側角のRを0.5mmのシャープエッジに成形する。

【0050】エッジ部分のRが大きい場合、バスケット130に応力が加わると、角パイプ132の特定部位(エッジ近傍)に応力集中が起こって破損の原因となりうる。このため、角パイプ132をシャープエッジにすることで、隣接する角パイプ132に対して荷重が直接的に伝わるから、角パイプ132の特定部位に対する応力集中を避けることができる。

【0051】図8は、上記角パイプの挿入方法を示す斜視図である。上記工程により製造した角パイプ132は、キャビティ102内の加工形状に沿って順次挿入される。ここで、角パイプ132に曲げとねじれが生じていること、寸法のマイナス公差が0であることから、角パイプ132を適当に挿入しようとすると、公差の累積や曲げの影響を受けて挿入しにくくなり、無理に挿入すると角パイプ132に過剰な荷重が加わることになる。そこで、製造した全部または一部の角パイプ132の曲げ及びねじれをレーザ測定器などにより予め測定し、コンピュータを用いることで、当該測定データに基づき最適な挿入位置を割り出すようにする。このようにすれば、キャビティ102内に角パイプ132を容易に挿入することができるし、それぞれの角パイプ132にかかる応力を均一にすることができます。

【0052】また、図8および図3に示すように、キャビティ102のうちセル数が5個または7個となる角パイプ列の両側には、それぞれダミーパイプ133が挿入されている。このダミーパイプ133は、胴本体101の重量を軽減すると共に胴本体101の厚みを均一化すること、角パイプ132を確実に固定することを目的とする。このダミーパイプ133にもボロン入りアルミニウム合金を用い、上記同様の工程により製作する。なお、このダミーパイプ133は省略することもできる。

【0053】つぎに、胴本体101のキャビティ102の加工について説明する。図9はキャビティ102の加工装置を示す概略斜視図である。この加工装置140は、胴本体101内を貫通すると共にキャビティ102内に載置固定される固定テーブル141と、固定テーブル141上を軸方向に摺動する可動テーブル142と、可動テーブル142上にて位置決め固定されているサドル143と、サドル143上に設けられスピンドルユニット144および駆動モータ145からなるスピンドルユニット146と、スピンドル軸に設けたフェースミル147とから構成されている。また、スピンドルユニット146上には、キャビティ102内形状に従って当接部を成形した反力受け148が設けられている。この反力受け148は、着脱自在であって蟻溝(図示省略)に沿って図中矢印方向にスライドする。また、反力受け148は、スピンドルユニット146に対するクランプ装置149を有しており、所定位置にて固定することができる。

【0054】さらに、固定テーブル141の下部溝内には、複数のクランプ装置150が取り付けられている。このクランプ装置150は、油圧シリンダ151と、油圧シリンダ151の軸に設けたくさび状の移動ブロック152と、当該移動ブロック152と傾斜面で当接する固定ブロック153とから構成されており、図中斜線部側を固定テーブル141の溝内面に取り付けるようとする。油圧シリンダ151の軸を駆動すると、移動ブロック152が固定ブロック153に当接し、くさびの効果により移動ブロック152が多少下方に移動する(図中点線で示す)。これにより、移動ブロック152の下面がキャビティ102内面に押し当てられるから、固定テーブル141をキャビティ102内で固定することができる。

【0055】また、胴本体101はローラからなる回転支持台154上に載せられており、径方向に回転自在となる。また、スピンドルユニット146とサドル143との間にスペーサ155をかますことにより、固定テーブル141上のフェースミル147の高さを調整することができる。スペーサ155の厚さは、上記角パイプ132の一辺の寸法と同じである。サドル143は、移動テーブル142に設けたハンドル156を回転させることにより胴本体101の径方向に移動する。移動テーブル142は、固定テーブル141の端部に設けたサーボ

モータ157とボールネジ158により移動制御される。なお、加工が進むにつれてキャビティ102内の形状が変わるので、反力受け148やクランプ機構150の移動ブロック152を適当な形状のものに変更する。

【0056】図10は、キャビティの加工方法を示す概略説明図である。まず、クランプ装置150および反力受け148により固定テーブル141をキャビティ102内の所定位置にて固定する。つぎに、同図(a)に示すように、固定テーブル141に沿ってスピンドルユニット146を所定の切削速度にて移動させ、フェースミル147によるキャビティ102内の切削を行う。当該位置での切削が完了すると、クランプ装置150を外して固定テーブル141を解放する。つぎに同図(b)に示すように、回転支持台154上で胴本体101を90度回転させ、クランプ装置150にて固定テーブル141を固定する。そして上記同様にフェースミル147にて切削を行う。以降、前記同様の工程をさらに2回繰り返す。

【0057】つぎに、スピンドルユニット144を180度回転させ、同図(c)に示すように、順次、キャビティ102内の切削を行う。この場合も、上記同様に胴本体101を90度回転させながら加工を繰り返す。つぎに、同図(d)に示すように、スピンドルユニット144にスペーサ155をかませることで当該スピンドルユニットの位置を高くする。そして、当該位置にてフェースミル147を軸方向に送り、キャビティ102内の切削を行う。これを90度回転させながら繰り返すことで、角パイプ132を挿入するのに必要な形状がほぼ完成する。なお、ダミーパイプ133を挿入する部分の切削も、同図(d)に示すのと同様にして行えばよい。但し、スピンドルユニット144の高さを調整するスペーサ厚は、ダミーパイプ133の一辺と同じにする。

【0058】また、胴本体101の面取部1をフライス加工する場合は、図11に示すように、胴本体101を専用のクランプ装置10によって回転支持台154上で固定し、スピンドルユニット146を固定テーブル141ごと胴本体101の側方に配置する。この状態でフェースミル147を軸方向に送り、胴本体101の面取部1の切削加工を行う。面取部1の一つが加工し終わったら、上記同様にクランプ装置10を外して胴本体101を90度回転させ、切削を続行する。この工程をあと2回繰り返すことで胴本体101の面取部1の加工が終了する。

【0059】キャスク100に収容する使用済み燃料集合体は、核分裂性物質および核分裂生成物などを含み、放射線を発生すると共に崩壊熱を伴うため、キャスク100の除熱機能、遮蔽機能および臨界防止機能を貯蔵期間中、確実に維持する必要がある。この実施の形態1にかかるキャスク100では、胴本体101のキャビティ102内を機械加工して角パイプ132で構成したバス

ケット130の外側を密着状態（空間領域なし）で挿入するようにしており、さらに、胴本体101と外筒105との間に内部フィン107を設けている。このため、燃料棒からの熱は、角パイプ132或いは充填したヘリウムガスを通じて胴本体101に良好に伝導し、主に内部フィン107を通じて外筒105から放出されることになる。以上から、崩壊熱の除熱を効率的に行うことができるので、崩壊熱量が同じであればキャビティ102内の温度を従来例よりも低く保つことができる。

【0060】また、使用済み燃料集合体から発生する γ 線は、炭素鋼あるいはステンレス鋼からなる胴本体101、外筒105、蓋部109などにおいて遮蔽される。また、中性子はレジン106によって遮蔽され、放射線業務従事者に対する被ばく上の影響をなくすようにしている。具体的には、表面線当量率が2mSv/h以下、表面から1mの線量当量率が100 μ Sv/h以下になるような遮蔽機能が得られるように設計する。さらに、セル131を構成する角パイプ132には、ボロン入りのアルミニウム合金を用いているので、中性子を吸収して使用済み燃料集合体が臨界に達するのを防止することができる。

【0061】以上、この実施の形態1にかかるキャスク100によれば、胴本体101のキャビティ102内を機械加工しバスケット103の外周を構成する角パイプ132を密着状態で挿入するようにしたので、角パイプ132からの熱伝導率を向上させることができる。また、キャビティ102内の空間領域をなくすことができるから、胴本体101をコンパクトかつ軽量にすることができる。なお、この場合であっても、角パイプ132の収容数が減少することはない。逆に、胴本体101の外径を図17に示すキャスクと同じにすれば、それだけセル数を確保できるから、使用済み燃料集合体の収納数を増加することができる。

【0062】また、胴本体101に面取部1を設けると共に空間部分2を設けてレジン106をこの胴本体101の外形に合わせて成形したので、放射線遮蔽に必要十分な厚さを確保しつつ、キャスク100の重量をさらに軽減することができる。具体的に当該キャスク100では、キャスク本体116の外径を例えば2560mm、重量を120tonに抑えて、要求される設計条件（キャスク本体の外径が2764mm以下、重量125ton以下）を満たすうえ、使用済み燃料集合体の収容数を69体にすることを可能にしている。

【0063】つぎに、上記実施の形態1にかかるキャスクの変形例について説明する。図12は、キャスクの変形例を示す径方向断面図である。上記キャスク100では、胴本体101の面取部1を90°毎に4箇所設けたが、同図(a)に示すように、45°毎に面取部1、1aを設けて胴本体101を8角形にしてもよい。また、レジン106の厚さが増加することになるが、当該レジ

ン106に各面取部1に対応する空間部分を設けるようにしてもよい（図示省略）。また、同図(b)に示すように、上記胴本体101の曲面部分を二つの面取部1bに加工するようにしてもよい。いずれの場合も、胴本体101の外形をバスケット130の外形に合わせることが可能であって、キャスク100をさらに軽量かつコンパクトにすることができる。

【0064】図13は、キャスクの他の変形例を示す径方向断面図である。このキャスク200のように、外筒201の形状を変更して上記空間部分2を省略するようにしてもよい。実際の製造工程では、レジン106を充填する前に胴本体101と外筒201を内部フィン107で結合しておくので、そのままレジン106を充填できる。このため、上記のような空間部分2を形成する埋没型3が不要になる。ただし、レジン106の熱膨張を吸収する熱膨張しろ108を形成するため、シート状埋没型3cは必要である。かかる構成によれば、さらにキャスク200をさらにコンパクトにすることができる。

【0065】また、上記空間部分2の形成を省略するようにしてもよい。図14に、そのようなキャスク250の径方向断面図を示す。上記キャスク100において、その胴本体101が炭素鋼またはステンレス鋼製でありレジン106が高分子材料製であるから、重量低減の観点から重要なのは胴本体101の形状である。そこで、レジン106の空間部分2の形成を省略して製造工程を簡略化するようにした。かかる構成のキャスク250によれば、製造工程を簡略化できると共にキャスク250の軽量化を図ることができる。

【0066】（実施の形態2）図15は、この発明の実施の形態2にかかるキャスクを示す径方向断面図である。このキャスク300は、胴本体101の γ 線遮蔽性能が不足している部分101aに補助遮蔽体301を設けて所定厚さを確保するようにした点に特徴がある。すなわち、この補助遮蔽体301を設けていない部分101bが、上記実施の形態1のキャスク100における面取部1に実質的に相当する。補助遮蔽体301は、胴本体101と同じ炭素鋼またはステンレス鋼であって、鋳造、鍛造或いは機械加工により製造する。この他の構成は、上記実施の形態1のキャスク100と同様であるから説明を省略し、同要素については同一の符号を付する。このキャスク300によれば、上記同様、キャスク300をコンパクトかつ軽量にすることができる。

【0067】（実施の形態3）図16は、この発明の実施の形態3にかかるキャスクを示す径方向断面図である。このキャスク400は、上記図17および図18に示したキャスク500の胴本体501の外側面に、90°間隔で4つの面取部401を設けたものである。上記同様、各面取部401は、バスケット509外側の面一部分509aに対向して設けられている。この面取部401は、上記した専用の加工装置により機械加工する。

【0068】また、レジン502は、この胴本体501の外側に密着状態で充填されているが、前記面取部401に対応する位置であって、外筒503とレジン502との間に空間部分402を形成している。胴本体501に面取部401を設けることで、当該部分のレジン502が余計に厚くなってしまうからである。この空間部分402を設けることにより、レジン502の使用量を削減することができる。なお、この他の構成要素については上記キャスク500と同じであるから、その説明を省略する。かかる構成であっても、キャスク400を軽量かつコンパクトにすることができる。

【0069】

【発明の効果】以上説明したように、この発明にかかるキャスク（請求項1～3）は、胴本体の外形を前記バスケットの外形に合わせたので、キャスクを軽量化できる。また、この発明にかかるキャスク（請求項4）によれば、胴本体の外形およびキャビティ内形を前記バスケットの外形に合わせたので、キャスクを軽量かつコンパクトにすることができる。

【0070】また、この発明にかかるキャスク（請求項5）では、中性子遮蔽体の形を前記バスケットの外形に合わせたので、キャスクをコンパクトにすることができ、中性子遮蔽体の使用量を削減できる。

【0071】また、この発明にかかるキャスク（請求項6）は、胴本体のうち、 γ 線の遮蔽厚さに余裕がある部分に加工面を設けることで胴本体の外形をバスケットの外形に合わせるようにしたので、キャスクを軽量かつコンパクトにすることができる。

【0072】また、この発明にかかるキャスク（請求項7）は、胴本体のうち、 γ 線の遮蔽厚さが不足する部分に補助遮蔽体を設けることで胴本体の外形をバスケットの外形に合わせるようにしたので、軽量化およびコンパクト化を図ることができる。

【0073】また、この発明にかかるキャスク（請求項8）は、胴本体のキャビティ内形を前記バスケットの外形に合わせると共に、セル内に収容した使用済み燃料集合体から発生する γ 線を遮蔽するのに必要な厚さが得られるように前記胴本体の外側に加工を施したので、キャスクを軽量かつコンパクトにすることができる。

【0074】また、この発明にかかるキャスク（請求項9）は、前記中性子遮蔽体を、前記胴本体の外側に略均一厚さで形成したので、余分な中性子遮蔽体を削減してキャスクをコンパクトにすることができる。

【0075】また、この発明にかかるキャスクの製造方法（請求項10）は、予め、前記外筒の内面に埋没型を配置しておき、中性子遮蔽体の充填後に前記埋没型を加熱除去することで外筒との間に膨張しろその他の空間部分を形成するようにした。このため、キャスクの製造が容易になる。

【0076】また、この発明にかかる埋没型（請求項1

1）は、外筒と充填する中性子遮蔽体との間に形成する膨張しろその他の空間部分の型であり、この型を熱可塑性の材料により成形すると共に当該型にヒーターを埋設し、ヒーターを加熱することで型を溶融除去するようにしたので、キャスクの製造を容易に行うことができる。

【0077】また、この発明にかかる埋没型（請求項12）は、金属コアの周囲に熱可塑性の材料を設けて成形すると共に前記金属コアにヒーターを埋設したので、型の使い回しが容易になってキャスクの製造効率が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態1にかかるキャスクの構成を示す斜視図である。

【図2】図1に示したキャスクの径方向断面図である。

【図3】図1に示したキャスクの軸方向断面図である。

【図4】空間部分の形成に用いる埋没型を示す斜視図である。

【図5】膨張しろの形成に用いる埋没型を示す斜視図である。

【図6】角パイプの製造方法を示すフローチャートである。

【図7】角パイプの断面形状を示す説明図である。

【図8】上記角パイプの挿入方法を示す斜視図である。

【図9】キャビティの加工装置を示す概略斜視図である。

【図10】キャビティの加工方法を示す概略説明図である。

【図11】胴本体の面取部の加工方法を示す説明図である。

【図12】キャスクの変形例を示す径方向断面図である。

【図13】キャスクの他の変形例を示す径方向断面図である。

【図14】キャスクの他の変形例を示す径方向断面図である。

【図15】この発明の実施の形態2にかかるキャスクを示す径方向断面図である。

【図16】この発明の実施の形態3にかかるキャスクを示す径方向断面図である。

【図17】キャスクの一例を示す斜視図である。

【図18】図17に示したキャスクの軸方向断面図である。

【符号の説明】

- 1 面取部
- 2 空間部分
- 3 埋没型
- 4 ヒーター
- 5 S U S 板
- 6 ホットメルト接着剤
- 100 キャスク

101 脊本体
102 キャビティ
104 底板
105 外筒
106 レジン
107 内部フィン
108 熱膨張しろ
109 蓋部
110 一次蓋

111 二次蓋
115 補助遮蔽体
116 キャスク本体
117 トラニオン
118 緩衝体
130 バスケット
131 セル
132 角パイプ

フロントページの続き

(72)発明者 大崎 勝
兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号
三菱重工業株式会社高砂研究所内

(72)発明者 大亀 信二
神戸市兵庫区小松通五丁目1番16号 株式
会社神菱ハイテック内